

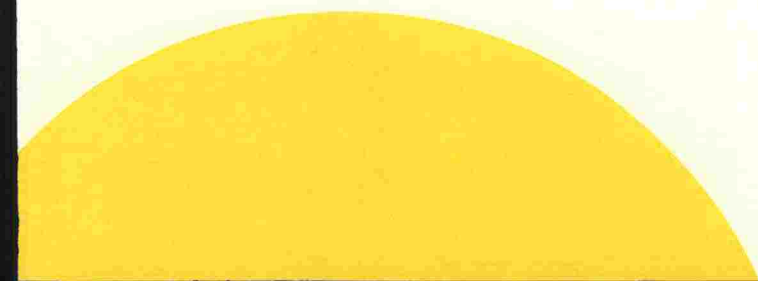
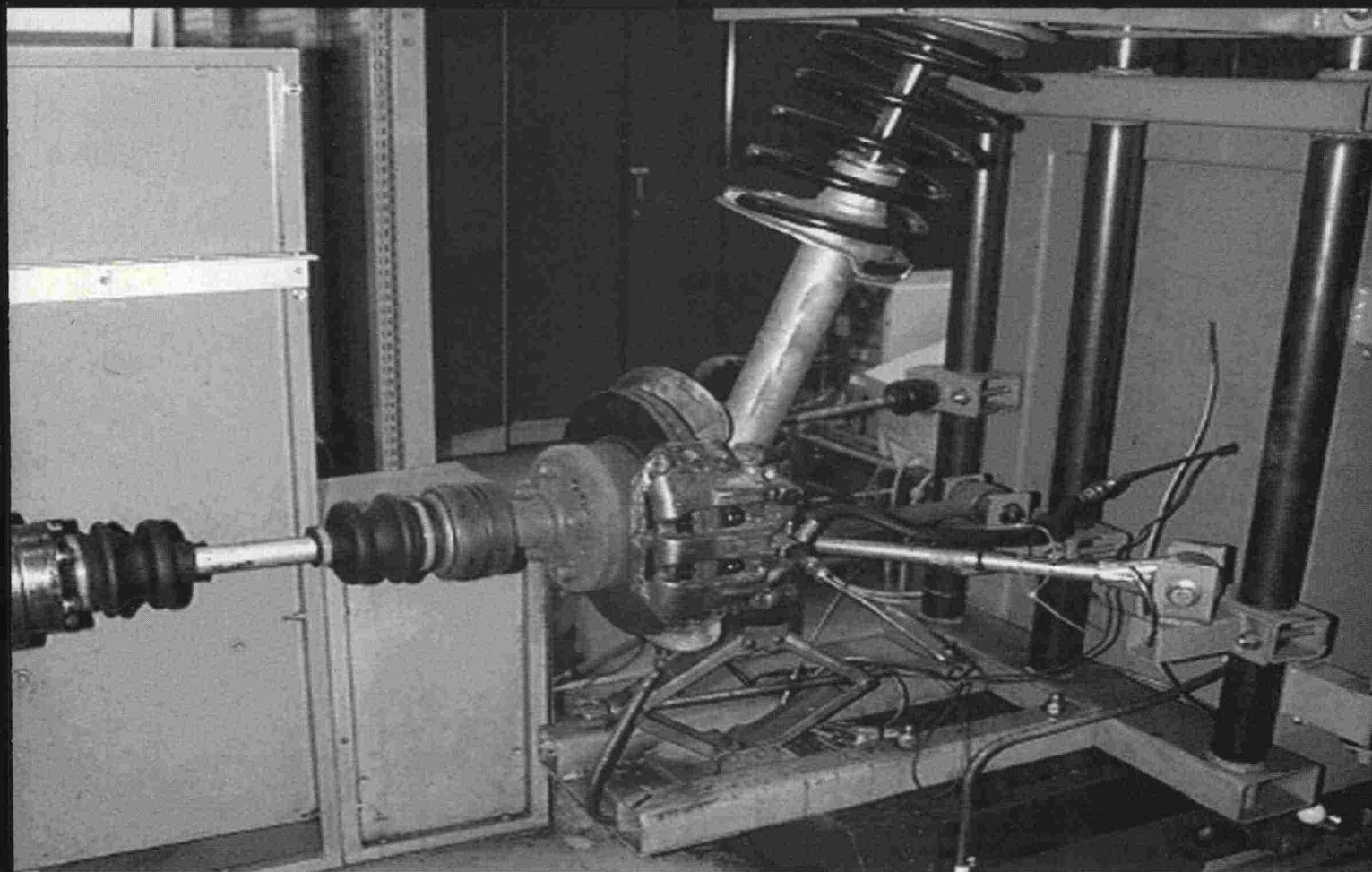


TIEHALLINTO

Perttu Mustalahti

Tiesuolan vaikutukset auton jarruihin

Tiehallinnon selvityksiä 72/2001



Perttu Mustalahti

Tiesuolan vaikutukset auton jarruihin

Tiehallinnon selvityksiä 72/2001

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-828-9
TIEH 3200718

Edita Oyj
Helsinki 2001

Julkaisua myy:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652
e-mail julkaisumyynti@tiehallinto.fi



TIEHALLINTO
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 150

Perttu Mustalahti: Tiesuolan vaikutukset auton jarruihin. Helsinki 2001. Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka. Tiehallinnon selvityksiä 72/2001. 39 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-828-9. TIEH 3200718.

Asiasanat: ajoneuvot, korroosio, liikenneturvallisuus, talvihoito, tiesuolat
Aiheluokka: 71,96

TIIVISTELMÄ

Insinööritöyssä selvitettiin, millä tavalla tiesuola vaikutti auton jarrujen toimintaan. Toimeksiantajana työssä oli Tiehallinto. Erityisenä tutkimuskohteena työssä oli suolan vaikutus jarrujen kitkapinnoilla eli heikentääkö suola jarrujen tehoa ja jos heikentää, niin kuinka paljon. Lisäksi selvitettiin käyttäytymäkö kaksi Suomessa käytettävää tiesuolaa – kalsiumkloridi ja natriumkloridi – mahdollisesti eri tavalla jarrutustilanteessa. Tietoa työssä hankittiin perehtymällä aikaisempaan tutkimustietoon sekä suorittamalla jarrusimulaattorilla koejarrutuksia. Tämän lisäksi työssä käsiteltiin yleisesti suolaukseen liittyviä kysymyksiä, kuten suolan käyttöä sekä käytettyjen suolojen ympäristö- ja korroosiovaikutuksia.

Varsinaiset mittaukset toteutettiin koulun jarrusimulaattorilla, jolla suoritettiin jarrutussarjoja kuivilla, märillä ja suolaliuoksilla kostutetuilla jarrulevyillä. Lisäksi suoritettiin jarrutuksia levyillä, joiden pintaan oli kuivunut suolaa. Mittaustulosten perusteella piirrettiin kuvaajat, jolloin päästiin vertailemaan eroja eri tilanteiden välillä.

Tuloksista havaittiin selvästi, että jo pelkkä vesi vaikutti jarrujen tehoon heikentävästi ja kun levyn pintaa kasteltiin suolaliuoksilla, jarrujen teho heikkeni todella merkittävästi. Käytetyistä suolaliuoksista kalsiumkloridilla oli suurempi vaikutus jarrutehon heikkenemiseen. Kuivunut suola vaikutti molempien suolojen tapauksessa lähes samalla tavalla, niin että saavutettu jarrutusteho oli jonkin verran kuivaa levyä heikompi.

Ongelman pienentämiskeinoiksi työssä esitetään informaation lisäämistä esimerkiksi autokouluissa ja autoalan julkaisuissa sekä jarruosien suojaamista suolavedeltä käyttämällä talvella umpinaisia peltivanteita avonaisten kevytmetallivanteiden sijaan. Myös jarrujen huoltoon kehoitetaan kiinnittämään huomiota.

Keywords: Vehicle, Brakes, Anti-icing salt, Safety, Wintermaintenance

SUMMARY

The main objective of the final project was to study how the anti-icing salt affects the car brake discs. The assignment for the project was given by the Finnish Road Administration. The specific research subject consisted of a study on the effects of anti-icing salt on the friction surfaces of brake discs, i.e. would salt reduce efficiency of the brakes and if so, how much. The other aim of the study was to examine if the anti-icing salts used in Finland – Calcium chloride and Sodium chloride – had a different effect on the brake disc in braking situation. The results are based on a few previous studies and more importantly on several simulated brakings affected by a brake simulator. Also other questions in relation to the use of anti-icing salt such as corrosion and environmental matters, were approached from a general point of view in this project.

The actual measurement phase was carried out by making several braking simulations with the brake simulator at the Helsinki Polytechnic. The braking actions were conducted with dry brake discs, wet discs and with discs that were moistened by two different salt solutions. Measurements were also performed with discs that had dry salt on their friction surfaces. The results of the measurements were all gathered in different graphs in order to better compare the differences in different braking conditions.

It was clearly seen that even water alone had a strong effect on brakes and the in the case of salt solutions the difference when compared to dry discs was significant. Calcium chloride had a larger effect than Sodium chloride. Dried salt had also some effect but it wasn't as significant as with salt solutions or water.

The study also brings out a few possible solutions to decrease the harm caused by anti-ice salt, such as giving more detailed information on the effects of anti-ice salt on disc brakes at driving schools and in the automotive magazines. Also the importance of protecting brakes from salt water by using closed steel wheels instead of open light alloy wheels and making sure that the maintenance of brakes is taken care of are emphasised in order to improve the functionality of brakes.

ALKUSANAT

Selvitys on tehty insinöörityönä Helsingin ammattikorkeakoulussa. Työn valvojana koulun puolesta on toiminut lehtori Heikki Parviainen. Työn toimeksiantajana on ollut Tiehallinnon Tie- ja liikennetekniikka yksikkö, jossa työn ohjaajana on toiminut diplomi-insinööri Anne Leppänen. Selvityksen tekijänä on toiminut ins.opp. Perttu Mustalahti.

Selvityksen pääasiallisena tavoitteena oli tutkia suolan mahdollisia vaikutuksia jarrujen toimintaan ja tehoon sekä onko Suomessa käytettyjen suolalajien vaikutuksissa eroja. Mielenkiinto asiaa kohtaan on herännyt autovalmistajilta ja -maahantuoilta saatujen tietojen pohjalta, kun asiakkaat ovat raportoineet jarrujen heikosta tehosta tai jopa "häipymisestä" ajettaessa suolatuilla teillä.

Helsinki, marraskuu 2001

Tiehallinto
Tie- ja liikennetekniikka

Sisältö

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 9 |
| 2 | TIESUOLAN KÄYTTÖ SUOMESSA | 10 |
| 2.1 | Liukkaudentorjunnan perusteet ja liukkauden määrittäminen | 10 |
| 2.2 | Käytettävät liukkaudentorjunta-aineet | 11 |
| 2.3 | Tiesuolan ympäristövaikutukset | 13 |
| 3 | SUOLAN KORROOSIOVAIKUTUKSET | 14 |
| 3.1 | Suolat ja korroosio | 14 |
| 3.2 | Korroosio jarruosissa | 14 |
| 3.3 | Arviot korroosiosta mittausten aikana | 15 |
| 4 | SUOLAN VAIKUTUKSET JARRUJEN TEHOON | 17 |
| 4.1 | Aikaisempaa tutkimustietoa | 17 |
| 4.1.1 | Case Volkswagen | 17 |
| 4.1.2 | Case Saab | 19 |
| 4.2 | Lähtökohdat mittauksiin | 19 |
| 5 | LABORATORIOMITTAUKSET | 20 |
| 5.1 | Mittalaitteen esittely ja käytetyt komponentit | 20 |
| 5.2 | Mittaustapahtuman esittely | 22 |
| 5.3 | Mittaukset | 24 |
| 5.3.1 | Kuivan levyn mittaukset | 24 |
| 5.3.2 | Märän levyn mittaukset | 26 |
| 5.3.3 | Mittaukset suolaliuoksilla | 28 |
| 5.3.4 | Kuivan suolan mittaukset | 29 |
| 5.4 | Mittaustulosten analysointi | 31 |
| 6 | LOPPUYHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 37 |
| 7 | VIITTEET | 39 |

1 JOHDANTO

Tässä insinöörityössä selvitetään minkälaisia vaikutuksia tiesuolalla on auton jarruihin. Pääasiallisena tutkimuskohteena työssä on suolan vaikutus jarrujen toimintaan ja tehoon. Mielenkiinto asiaa kohtaan eräänä teiden suolaukseen liittyvänä ongelmana on herännyt autovalmistajilta ja –maahantuojilta saatujen tietojen pohjalta, kun asiakkaat ovat raportoineet jarrujen heikosta tehosta tai jopa ”häipymisestä” ajettaessa suolatuilla teillä.

Tietoa asiasta on hankittu perehtymällä aikaisempiin tutkimuksiin ja selvityksiin kahden automerkin osalta sekä jarrusimulaattorilla suoritetuilla laboratoriomittauksilla. Työssä on erityisesti tarkoitus hakea vastausta kahteen eri kysymykseen:

- Vaikuttaako suola heikentävästi jarrujen toimintaan ja jos, niin kuinka paljon?
- Onko kahdella Suomessa käytettävällä tiesuolalla – natriumkloridilla ja kalsiumkloridilla – keskenään eroa jarrujen toiminnassa ja tehossa?

Työssä käsitellään myös yleisesti kirjallisuuden pohjalta sekä silmämääräisten arviointien perusteella teiden suolauksessa käytettävien suolojen korrosiovaikutuksia sekä jarruissa että yleisesti muissa auton metalliosissa.

Lisäksi käydään läpi liukkaudentorjunnan perusteita sekä selvitetään teiden suolauksessa käytettyjen suolojen vaikutuksia ympäristöön aikaisemman tutkimustiedon pohjalta.

Varsinaiset laboratoriomittaukset toteutetaan siten, että jarrusimulaattorilla suoritetaan jarrutuksia eri tilanteissa (kuiva levy, märkä levy, suolaliuokset sekä kuivunut suola) ja tuloksia vertaillaan keskenään. Varsinaisesti ei ole tarkoitus hakea vastauksia suolauksen puolesta tai vastaan eikä myöskään suositella erityisesti jommankumman suolan käyttöä. Yksinkertaisesti selvitetään, miten suolat mahdollisesti vaikuttavat jarrujen toimintaan ja sitä kautta liikenneturvallisuuteen. Saatujen tulosten perusteella mietitään keinoja, joilla mahdolliset ongelmat voitaisiin estää kokonaan tai ainakin niitä voitaisiin vähentää.

2 TIESUOLAN KÄYTTÖ SUOMESSA

2.1 Liukkaudentorjunnan perusteet ja liukkauden määrittäminen

Suomessa teiden liukkaus on ongelma noin 5 - 6 kuukautta vuodesta. Liukkaus on todella merkittävä tekijä Suomen teiden liikenneturvallisuuden kannalta. Ennakointi ja oikea asennoituminen liukkaisiin teihin parantaa turvallisuutta, mutta myös muita keinoja tarvitaan.

Suomessa on talvikuukausien ajan talvirengaspakko, jolloin on käytettävä joko nasta- tai kitkarenkaita. Näiden renkaiden kitkaominaisuudet lumella ja jäällä ovat huomattavasti paremmat verrattuna kesärenkaaseen. Kuitenkin niiden ominaisuudet eivät auta kaikissa keliolosuhteissa. Tällöin on turvauduttava keinoihin, joilla teiden liukkausta voidaan torjua tai ainakin vähentää.

Suomessa teiden liukkauden arviointi perustuu silmämääräiseen havainnointiin ja ajotuntumaan sekä kelikuvauksen mukaiseen kitka-arvioon. Seuraavan taulukon kitka-arviot perustuvat Tiehallinnon ohjeistukseen.

Taulukko 1. Kitka-arvon ja kelin vastaavuus /1, s. 10/.

| 0,00 - 0,14 | 0,15 - 0,19 | 0,20 - 0,24 | 0,25 - 0,29 | 0,30 - 0,44 | 0,45 - 1,00 |
|-------------------------|-------------|----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| pääkallokeli, märkä jää | sileä jää | tiivis, polanne | karkea jää- ja lumipolanne | paljas ja märkä | paljas ja kuiva |
| erittäin liukas | liukas | tyytyttävä talvikeli | hyvä talvikeli | pitävä keli | pitävä keli |

Näiden lisäksi liukkausta määritetään myös mittaamalla tien ja renkaan välistä kitkaa erityisellä kitkanmittausajoneuvolla. Tällainen laite on C-trip kitkanmittauslaite, ja sen toiminta perustuu auton hidastuvuuden mittaamiseen jarrutettaessa. Laite asennetaan autoon. On suositeltavaa, että kyseinen mittausajoneuvo olisi varustettu ABS-jarruilla, ja lisäksi ajoneuvon jarrujen ja renkaiden tulisi olla asianmukaisessa kunnossa.

C-trip kitkanmittauslaite on elektroninen autoon asennettava mittalaite, joka siis mittaa auton hidastuvuutta jarrutuksessa. C-tripin pulssianturi on yhteydessä auton nopeusmittariin. Kitkamittarin kalibrointiarvoksi asetetaan n. -5°C:n lämpötilassa ja karkealla lumipolanteella 0,29.

Laite kytketään siten, että jarruvalon syttyminen käynnistää mittauksen. Toiminta varsinaisessa kitkanmittauksessa on seuraavanlainen: autolla ajetaan nopeutta 50 km/h (voidaan suorittaa myös nopeusalueella 60 - 80 km/h), painetaan kytkin pohjaan ja aloitetaan jarrutus sellaisella poljinvoimalla, että muutaman sekunnin kuluttua jarrut alkavat lukkiutua. Jarrutus lopetetaan heti, kun etupyörät lukkiutuvat.

C-trip kitkamittausten luotettavuuden kannalta on huomioitava muutama asia. Ensinnäkin kitkamittauksia tehtäessä eri ajoneuvojen renkaiden tulisi olla samantyyppisiä. Tutkimuksissa on havaittu, että kitkarenkailla kitka-alue on laajempi ja myös kulumisen vaikutus on pienempi verrattuna nastaren-

kaaseen. Myös auton jarrujärjestelmällä on vaikutusta tuloksiin. ABS-järjestelmällä varustetun auton mittaustulosten hajonta on pienempi kuin ilman ABS-järjestelmää. Mittauksia voi kuitenkin tehdä myös ajoneuvolla, jossa ei ole ABS-järjestelmää. Koska suurin osa autoista edelleen varustettu perinteisellä jarrujärjestelmällä, ilman ABS:ää suoritettavat mittaukset vastaavat paremmin näiden autojen kitkatuntumaa. Huomion arvoinen seikka on myös se, että pienillä kitka-arvoilla (0,00 - 0,19) laitteen erottelukyky ei riitä tarkkojen kitka-arvojen saamiseen. /2, s. 13./

2.2 Käytettävät liukkaudentorjunta-aineet

Perinteisin ja yksinkertaisin tapa torjua liukkautta on hiekoitus. Hiekka parantaa kitkaa renkaan ja tien välissä, mutta hiekan pysyminen ajouralla on ongelmallista. Ratkaisuna tähän on kokeiltu kuuman hiekan levittämistä. Tällöin kuuma hiekka uppoaa jäähän ja jäätyy siihen kiinni. Toinen ongelma, joka liittyy hiekoitukseen on jään ja lumen sulamisen jälkeen asfalttiteille jäävä hiekka, joka pölyää sekä aiheuttaa ns. Kuulalaakeri-ilmiön, jolloin hiekka pyörii renkaan ja tien välissä heikentäen pitoa. Tielle levitettävän hiekan määrän on oltava linjahiekoituksessa 0,7 - 1,0 tonnia tiekilometriä kohden ja pistehiekoituksessa 200 - 400 g/m². Hiekoitus ei saa loppua yllättävästi ja esimerkiksi risteysalueella on hiekoitus on toteutettava siten, että siinä otetaan huomioon mm. tien nopeusrajoitus ja tien geometria. /1, s. 17./

Liukkauden torjunnassa voidaan myös käyttää suolaa, jonka tehtävänä sulattaa jää. Suolana voidaan käyttää joko natrium- tai kalsiumkloridia. Joissakin maissa käytetään myös magnesiumkloridia. Suomessa käytetään pääasiassa natriumkloridia joko rakeisena tai valmiina liuksena. Natriumkloridiliuosta käytetään rakeisen suolan kostuttamiseen. Kalsiumkloridin käyttö rajoittuu liuksen levittämiseen pieninä annoksina tai rakeisen natriumkloridin kostuttamiseen. Kaikkiaan Suomessa käytetään 80 000 - 120 000 tn tiesuolaa vuodessa riippuen talven olosuhteista. Suolan korvaavia kemikaaleja on myös olemassa, mutta niiden ongelmana korkeampi hinta ja heikompi teho liukkaudentorjunnassa. Tällaisia korvaavia aineita ovat mm. Kalsiummagnesiumasetatti (CMA) sekä kalium-, natrium- ja kalsiumformiaatit. Näillä kaikilla on hyvänä ominaisuutena klorideja pienempi korroosiovaikutus. Ne myös hajoavat luonnossa ja niiden hajoamistuotteet ovat vaarattomia. Ongelmallista on kuitenkin se, että hajoamisen pitäisi tapahtua ennen aineen pohjavesiin pääsyä, jotta ennestäänkin vähähappisten pohjavesien happivarat eivät kuluisi hajoamisessa. Tutkimukset asian osalta ovat vielä kesken. /3, s. 2 ja 6./

Natriumkloridi NaCl eli vuorisuola on rakenteeltaan rakeista. Suolaliuosta saadaan sekoittamalla natriumkloridia puhtaan veden kanssa. Valmistetun natriumkloridiliuksen väkevyyden on oltava vähintään 23 %. Natriumkloridiliuos alkaa väkevänä seoksenakin jäätää jo noin -20 °C:n lämpötilassa. Rakeisena tien pintaan levitetyn natriumkloridin on ensin imettävä kosteutta, ennen kuin varsinainen sulatusprosessi voi alkaa. Rakeista suolaa voidaan kostuttaa etukäteen natrium- tai kalsiumkloridiliuksella. Suomessa suolan levitys tapahtuu aina joko suolaliuksena tai kostutettuina rakeina. /3, s. 8./

Kalsiumkloridin käyttö liukkaudentorjunnassa perustuu sen kemiallis-fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kalsiumkloridi on hygroskooppista eli se siis imee itseensä vettä. Joutuessaan kosketukseen veden kanssa kalsiumkloridi

vapauttaa lämpöä eli tapahtuu eksoterminen reaktio. Juuri tätä ominaisuutta käytetään hyväksi teiden liukkaudentorjunnassa. Kalsiumkloridiliuos myös säilyy nestemäisenä kauan, jolloin tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyväksi mm. hiekkateiden pölynsidonnessa. Kalsiumkloridia valmistaa Suomessa Kemira Chemicals ja sitä on saatavilla sekä liuksena että kuivatavarana. Valmistus tapahtuu kalkkikivimurskeen ja suolahapon reaktion avulla:



Liukkaudentorjuntaan käytetyn 32-prosenttisen kalsiumkloridiliuoksen käyttölämpötila-alue on laaja, sitä voidaan käyttää jään sulattamiseen vielä alle -20° C:n lämpötilassa, mutta Suomessa sitä ei kuitenkaan käytetä näin kylmässä /6 ; 7./

Suolauksen ympäristökysymyksien esille tulo on lisännyt kiinnostusta liuos-suolaukseen. Hyötynäkökohtia, jotka puoltavat liuos-suolan käyttöä verrattuna perinteiseen kiteisen suolan käyttöön, ovat mm. pienemmät käytetyt suolamäärät sekä se, että suurin osa suolasta jää nimenomaan tielle eikä ajaudu tienpientareille. Liuos-suolaus on myös erinomainen syksyisin ja keväisin esiintyvän mustan jään torjuntakeino.

Liukkaudentorjunnan perusajatuksena on siis riittävä kitkataso tien ja renkaan välissä. Käytännössä kitkan täytyy olla riittävä vähintään puolet ajokaistan leveydestä. Seuraavassa taulukossa on koottuna Tiehallinnon liukkaudentorjunnan laatuvaatimukset.

Taulukko 2. Liukkaudentorjunnan laatuvaatimukset /1, s. 14/.

| Talvihoito-luokka | Kitkavaatimus | Lämpötilaraja | Toimenpideaika | Voimassaolo-aika |
|-------------------|---|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Is | 0,30 | -6 °C, kitka 0,25 | 2 h | 5 – 22 (yöllä kitka 0,28) |
| I | 0,28 | -4 °C, kitka 0,25 | 2 h | 5 – 22 (yöllä kitka 0,25) |
| Ib Tib | 0,25 syys- ja kevättalvi 0,25 pistehiekoitus vakiintunut talvi 0,20 linjakäsittely vakiintunut talvi 0,22 linjakäsittely nimetyt Ib tiet | | 3 h (suolaus) 4 h (hiekoitus) | 5 – 22 (yöllä tarpeen mukaan) |
| II | Liikenteen tarpeen mukaan | | 6 h (linjahiekoitus) | 6 – 22 (yöllä tarpeen mukaan) |
| III | Liikenteen tarpeen mukaan | | 10 h (linjahiekoitus) | 6 – 22 (yöllä tarpeen mukaan) |

Kitkavaatimus siis tarkoitti, että vähintään puolet ajokaistan leveydestä on vaatimuksen mukainen. Lämpötilaraja puolestaan tarkoittaa alinta lämpötilaa tien pinnassa, jossa kitkavaatimus on voimassa. Alemmissä lämpötiloissa kitkavaatimus on alhaisempi. Toimenpideaika on aika mitattuna kitkarajan alittumisesta työn (suolaus, hiekoitus) loppuun. Voimassaoloajalla tarkoitetaan aikaa vuorokaudesta, jolloin vaatimus voimassa. Tiehallinnon asettama tien talvihoitoluokka määritetään tien vilkkauden ja käyttöasteen mukaan. /1, s. 14/

Taulukko 3. Teiden talvihoitoluokat /5/.

| | |
|---------|---|
| Is | <i>Moottoriväylät, vilkkaat valtatieosuudet: tiet pääosin paljaita, kylminä ajanjaksoina voi olla ohuita polannekaistoja, liukkaudentorjunta ennakoivaa</i> |
| I | <i>Valtatiet: suurimman osan ajasta paljaita, voi esiintyä polannekaistoja, liukkaudentorjunta etukäteen</i> |
| Ib(TIb) | <i>Vähäliikenteiset valtatie, kantatiet, eräät taajamatiet: tie osittain paljas, tiellä kuitenkin hyvä talvikeli, liukkaudentorjunta suolalla vain syys- ja keväthiukkailla sekä ongelmatilanteissa</i> |
| II | <i>Kaikki kolminumeroiset tiet: pinta polanteinen tai osin urautunut, normaalitilanteissa liukkaudentorjunta hiekoittamalla kriittiset kohdat</i> |
| III | <i>Muut tiet: pinta polanteinen ja mahdollisesti urautunut, ajo-olosuhteet tyydyttävät</i> |

Ennakoivalla liukkaudentorjunnalla pyritään ylläpitämään kitkavaatimustasot esimerkiksi syksyisin ja keväisin talvirengaskauden ulkopuolella sekä vilkkaan liikenteen aikana. Myös huomattavan kylmä sää sekä lumisade asettavat omat vaatimuksensa liukkaudentorjunnalle. Kylmässä on arvioitava suolaa käytettäessä sen riittävyys kitkavaatimustason säilyttämiseen ilman suolauksen uusimista. Tällöin on kuitenkin huolehdittava esimerkiksi risteysalueiden riittävästä kitkatasosta. Lumisateessa ennakkoon suoritettu suolaus auttaa estämällä lumen jäätymisen tienpintaan. Suolaa voidaan myös lisätä aurauksen yhteydessä nimenomaan auratulle pinnalle. /1, s. 15./

2.3 Tiesuolan ympäristövaikutukset

Eräs tiesuolan käyttöön liittyvä puheenaihe on sen vaikutus ympäristöön. Erityisesti on keskusteltu suolan vaikutuksista pohjavesiin ja tienvarsikasvustoon. Monien tutkimusten perusteella on tultu siihen tulokseen, että tienvarsien kasvustolle natriumkloridi on kalsiumkloridia vaarallisempaa. Erityisesti tämä on havaittu tienvarsilla kasvavissa männyissä, joiden neulaset ovat ruskistuneet. Tämä johtuu siitä, että suolan natrium (Na) syrjäyttää neulasten kaliumin (K). Kalsiumkloridilla kaliumin syrjäyttämismäisyyttä ei ole havaittu. Suolojen sisältämällä kloridilla ei tutkimuksien mukaan ole vaikutusta kasveihin. /8/

Vaikutuksia pohjavesiin tutkittaessa on sen sijaan havaittu, että juuri suolojen kloridi on haitallinen osa, koska se siirtyy helposti maakerrosten läpi pohjavesiin. Myös natrium läpäisee helposti maakerrokset. Kalsium sen sijaan jää ylempiin maakerroksiin ja jopa parantaa maaperän laatua vähentämällä sen happamuutta. /8/

Ympäristön kuormitusta vähennettäessä käytetyn tiesuolan laadun lisäksi myös määrällä on merkitystä. Koska molemmat tiesuolat sisältävät kloridia, on siis käytetyllä suolamäärällä suora vaikutus ympäristön kloridikuormitukseen. /8/

Ympäristönäkökohtia pohdittaessa kalsiumkloridia voidaan pitää tienvarsikasvuston kannalta parempana vaihtoehtona teiden suolaukseen, mutta vaikutuksissa pohjavesiin natriumkloridin ja kalsiumkloridin välillä ei ole suuria eroja. Kun myös otetaan huomioon kalsiumkloridin natriumkloridia voimakkaammat vaikutukset rakennettuun ympäristöön, ollaan tilanteessa, jossa on vaikea antaa täsmällistä vastausta kummankaan suolan käytön puolesta tai vastaan.

3 SUOLAN KORROOSIOVAIKUTUKSET

3.1 Suolat ja korroosio

Tiesuola yhdistetään usein autoissa ilmeneviin korroosio-ongelmiin. Suola on voimakkaasti korroosiota lisäävä tekijä, mutta ei kuitenkaan ainoa. Suolan käytöllä aikaansaatua liikenneturvallisuuden parantuminen on kuitenkin korroosio-ongelmaa tärkeämpää.

Vertailtaessa natrium- ja kalsiumkloridin korroosio-ominaisuuksia niiden välillä ei ole havaittu suurempia eroja. Tutkimustieto eri lähteiden välillä on hieman ristiriitaista. Kemira Chemicalsin mukaan kalsiumkloridia voidaan jossain määrin pitää hieman vähemmän korroosiolle altistavana kuin natriumkloridia. Kalsiumkloridilla on kyky muodostaa kalsium-vetykarbonaattiyhdisteitä metallin pinnalle, jolloin siihen muodostuu vaikeasti liukeneva ja metallia jonkin verran suojaava pintakerros. VTI:n tutkimuksissa on puolestaan päädytty aivan päinvastaisiin tuloksiin. Yleisesti kalsiumkloridia on pidetty natriumkloridia voimakkaammin korroosiota aiheuttavana. /8 ; 11/

Vastaavasti natriumkloridi jossain tilanteissa kuivattaa metallipinnan kalsiumkloridia nopeammin ja siis näin ollen osaltaan pienentää suolan syövyttävyyttä. Molempien tiesuolojen korroosioaltuudesta voidaan vähentää lisäämällä suolaliuokseen erityisiä korroosionestoaineita eli nk. inhibiittejä. Tutkimukset näistä aineista ovat vielä kesken, mutta alustavien havaintojen mukaan kalsiumkloridia käytettäessä liuoksen syövyttävyyttä on saatu pienennettyä. /8/

3.2 Korroosio jarruosissa

Korroosion vaikutuksista jarruihin voidaan todeta mm. kulumisen ja liikkuvien osien jumiutuminen. Esimerkiksi pitkään seisseen auton jarrulevyjen pintaan muodostuu ruostekerros, joka kyllä kuluu jarrutusten myötä, mutta samalla se myös poistaa materiaalia levyn kitkapinnoilta. Ruostuminen aiheuttaa myös jarrun eri osien jumiutumista. Käsijarrun heikko toiminta johtuu osittain juuri jarruvivustojen jumiutumisesta. Myös jarruhuoltojen suorittaminen vaikeutuu ruuvien ja muttereiden jumiuduttua, ja niiden irrottaminen on toisinaan varsin aikaa vievää ja hankalaakin työtä. Varsin yleinen esimerkki tällaisesta on esimerkiksi jarrujen ilmausruuvin jumiutuminen. Ilmausruuvia saatetaan joutua lämmittämään, ja pahimmassa tapauksessa se voi katketa. Tällöin hyvinkin pienestä ja yksinkertaisesta jarrujen huoltotoimenpiteestä voi tulla suuritöinen.

Onnettomuustutkintalautakunnan mukaan viime aikoina ilmenneissä ongelmassa ABS-jarrujärjestelmissä yhdeksi tekijäksi on epäilty korroosiota ja sen aiheuttamaa osien jumiutumista. Tarkkaa tietoa asiasta ei valitettavasti vielä ole eikä toisaalta todisteita siitäkään, että juuri tiesuola tehostaisi korroosiota jarruosissa ja näin ollen olisi siis osatekijä juuri ABS-ongelmien syntyyn. /9/

3.3 Arviot korroosiosta mittausten aikana

Koska suunnitelluissa laboratoriomittauksissa käsiteltiin jarrulevyjä sekä natrium- että kalsiumkloridilla, oli samalla mahdollisuus seurata, mitä jarrulevyllä tapahtui, kun se altistui suolaliuoksille. Kysymyksessähän oli varsin lyhytaikainen seuranta ja se perustui täysin silmämääräiseen havainnointiin. (ks. Luku 5)

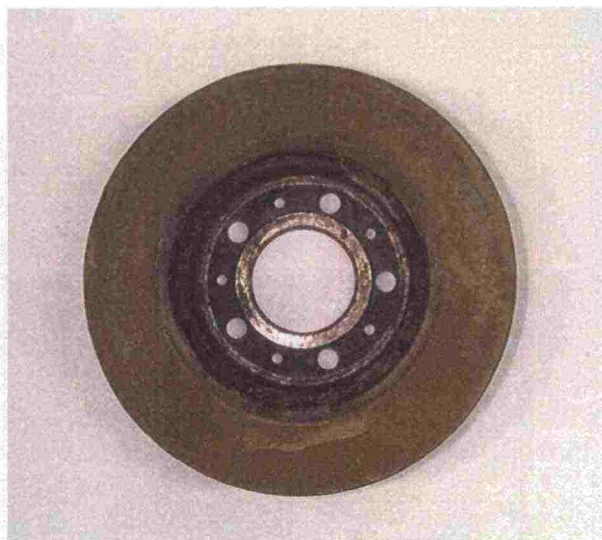
Jokainen joka on joskus pessyt autoa muistaa, että pesun jäljiltä jarrulevyt näyttävät siltä kuin niitä ei olisi koskaan käytettykään eli tarkemmin sanottuna niiden pintaan muodostuu kevyt ruostekerros. Mittausten aikana, kun levyt kasteltiin vedellä, oli havaittavissa sama ilmiö. Levyn kitkapinnoille muodostui ohut ruostekerros, joka kuitenkin lähti jo pelkästään levyä pyöritettäessä palojen laahauksen puhdistamana. Muihin levyn osiin, kuten jäähdytysripoihin ruoste jäi, koska niitä ei varsinaisesti mikään hankaava osa puhdistanut.

Seuraavassa mittausvaiheessa toinen levyistä kasteltiin kalsiumkloridiliuoksella. Tällä kertaa ruostekerros muodostui huomattavasti nopeammin ja lisäksi se oli paljon paksumpi kuin pelkän veden aikaansaama kerros. Kerroksen paksuus vaikutti levyn laahaamiseen ja sen huomasi selvästi, kun levyä pyöritti käsin. Ruostekerroksen pois kuluminen vaati jo pari kevyttä jarrutusta. Kalsiumkloridi ei kuivunut missään vaiheessa aivan kokonaan, vaan levyn pintaan jäi hieman kostea ja tahmainen kerros.



Kuva 1. Levy on käsitelty kalsiumkloridiliuoksella ja suolan annettu kuivua levyn pintaan.

Toinen levy kasteltiin vastaavalla tavalla, mutta tällä kertaa natriumkloridiliuoksella. Myös natriumkloridin kanssa korroosioilmiö oli selvästi havaittavissa. Levyn pintaan muodostui ruostekerros, joka oli veden aiheuttamaa paksumpi, mutta selvästi kalsiumkloridin aikaansaamaa ohuempi. Tällöin huomasi myös selvästi sen, että natriumkloridi kuivui paljon nopeammin kuin kalsiumkloridi.



Kuva 2. Levy on käsitelty natriumkloridiliuoksella ja suolan annettu kuivua levyn pintaan.

Silmämääräisten arviointien perusteella voidaan sanoa kalsiumkloridin olevan selvästi natriumkloridia voimakkaammin korroosiota aiheuttavaa.

4 SUOLAN VAIKUTUKSET JARRUJEN TEHOON

4.1 Aikaisempaa tutkimustietoa

4.1.1 Case Volkswagen

Tiesuola ja erityisesti sen aiheuttamat ongelmat ovat varsin pienen ja auto-tehtaiden kannalta markkina-arvoltaan vähämerkityksisten alueiden ongelma. Niinpä ongelmien tutkimiseen ei ole juuri uhrattu resursseja. Tiesuola ongelmaa voidaan siis jossain määrin verrata hirvikolariongelmaan, joka on merkittävä liikenneturvallisuustekijä lähinnä Suomessa ja Ruotsissa, mutta ei juuri vaikuta suurten autotehtaiden turvatekniikan suunnitteluun. Suuret markkina-alueet siis sanelevat auton kehityssuunnat ja tutkimuskohteet.

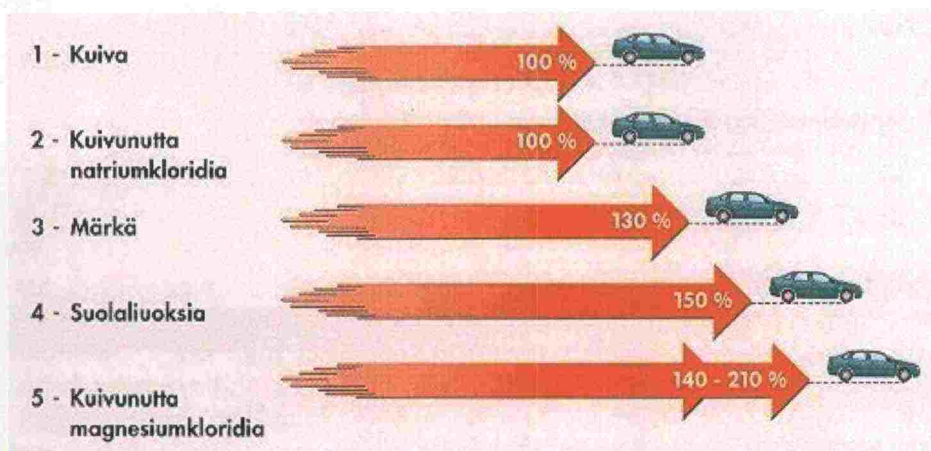
Volkswagen on yksi suurista autonvalmistajista, joka on tutkinut ja tehnyt selvityksiä asiasta. VW-organisaatiossa on lähdetty siitä, että Pohjois-Eurooppa yhdessä muodostaa riittävän suuren markkina-alueen suolaongelman nostamiseksi tarkempaan tarkasteluun.

90-luvun lopun automalleissa havaittiin jarrujen "häipymistä" kostealla ja suolatulla tiellä ajon yhteydessä. Osa palautteesta tuli asiakkailta, joille "häipyminen" oli tullut liikennetilanteessa yllätyksenä. VW:n tekemissä tutkimuksissa havaittiin, että jarrutuksen kannalta kriittisen jarrulevyn ja -palan välisessä kitkassa tapahtui muutoksia kun niiden väliin pääsi suolaliuosta. Näiden tutkimusten pohjalta saatiin selville levyn ja palan väliset kitkakertoimet eri tilanteissa.

Taulukko 4. Jarrulevyn ja -palan välinen kitkakerroin eri tilanteissa /10, s. 7/.

| Jarrulevyn ja -palan välinen tila | Kitkakerroin |
|-----------------------------------|--------------|
| Kuiva | 0,45 |
| Märkä | 0,3 |
| Natriumkloridia | 0,25 |
| Kalsiumkloridia | 0,15 |
| Magnesiumkloridia | 0,15 |

Valitettavasti tarkempia tietoja mittausjärjestelyistä ja itse tutkimuksista ei ole saatavilla. Joka tapauksessa tutkimus antaa viitteitä siitä, että suola heikentää jarrutustehoa ja näin ollen liikenneturvallisuutta. Heikentynyt jarrutustehohan näkyy suoraan pidentyneenä jarrutusmatkana. Seuraavassa kuvassa, joka perustuu myös VW:n selvityksiin, on hahmoteltu jarrutusmatkan kasvua eri tekijöiden vaikutuksesta poljinvoiman pysyessä vakiona.



Kuva 3. Jarrutusmatkojen kasvun vertailua eri tilanteissa /10, s. 8/.

Miksi sitten asia on noussut esille vasta nyt? VV-Auto Oy:n laativastaava Jari Pynnösen mukaan suolaongelma johtuu mm. seuraavista asioista: levyjarrujen yleistymisestä ja niiden koon kasvamisesta (suurempi jarrupala, jolloin sen pintapaine on pienempi ja kitkapintojen välissä on enemmän likaa) sekä myös asbestin käytön kieltämisestä jarruissa. Lisäksi nykyisten levyjarrujen pienempi laahaaminen, eli siis levyn jatkuvan puhdistumisen poistuminen polttoainetaloudellisista syistä on mahdollisesti vaikuttanut ongelman syntyyn. Auton käyttäjien ajotavalla ja -tottumuksilla sekä fysiikan lakien "unohtumisella" uskotaan myös olevan merkitystä asian esille nousussa. Esimerkiksi ajettaessa toisen auton perässä miettimättä tilannetta sen tarkemmin ja sitten jarrutettaessa yhtäkkiä totutulla tavalla, ihmetellään ja helposti syytetään autoa sen epätavallisesta käyttäytymisestä, vaikka kuljettaja omalla toiminnallaan olisi voinut estää koko ongelman syntymisen.

Joka tapauksessa VW-organisaatio reagoi asiaan siten, että 90-luvun lopun Pohjois-Euroopassa myytyihin Volkswagen Passat- ja Audi A4/A6 -malleihin vaihdettiin takuutyönä jarrupalat, joiden materiaali toimi paremmin suolan ja muiden epäpuhtauksien kanssa. Lisäksi etujarruihin asennettiin suuremmat jarrukilvet, ja saatavilla oli myös etupyörien eteen asennettavat pienet ilmanohjaimet, joiden tarkoituksena oli ohjata suolavesisuihku jarruista pois päin. Uusimmissa automalleissa oleva jarrutusvakavuuden säätely eli ESBS-järjestelmä on vähentänyt asian ongelmallisuutta.

4.1.2 Case Saab

Toinen automerkki, joka on reagoinut suolaongelmaan, on Saab. Saabin 9-3-mallin henkilöautoissa Ruotsissa havaittiin jarrujen häipymistä ajettaessa suolatulla ja kostealla tiellä. Suomessa ei ainakaan Saab-Auton jälkimarkkinointipäällikkö Mats Wagnerin mukaan ole asiakkailta tullut tietoa vastaavasta. Mallin erikoispiirteenä on muutamiin autoihin asennetut nk. Eurooppajarrupalat. Tällä tarkoitetaan paloja, joiden materiaali on suunniteltu erityisesti Keski-Euroopan moottoriteiden suuriin nopeuksiin eikä Pohjolan kylmiin olosuhteisiin. Huolloissa Eurooppajarrupalat on vaihdettu pehmeämpiin ja paremmin pohjoismaisiin oloihin sopiviksi.

Saabilla asiaa ei sen enempää ole tutkittu, mutta joitain arvioita ongelman synnystä on esitetty. Jarrujen häipymisen arvellaan johtuvan siitä, että suola sitoo kosteutta jarruihin. Käytettäessä kovia Eurooppa-paloja, jotka eivät kuumene helposti, kosteus ei pääse haihtumaan. Myös suolan sisältämiä paakkuuntumisenestoaineita on arveltu ongelman aiheuttajiksi. Yleisemmällä tasolla on arveltu, että avonaiset kevytmetallivanteet ovat merkittävä syy ongelman syntyyn, koska tällaiset vanteet päästävät lian ja suolan paremmin levyn pinnalle. Perinteisillä peltivanteilla ja pölykapseleilla varustetussa jarrut on paremmin suojattu epäpuhtauksilta. /11/

4.2 Lähtökohdat mittauksiin

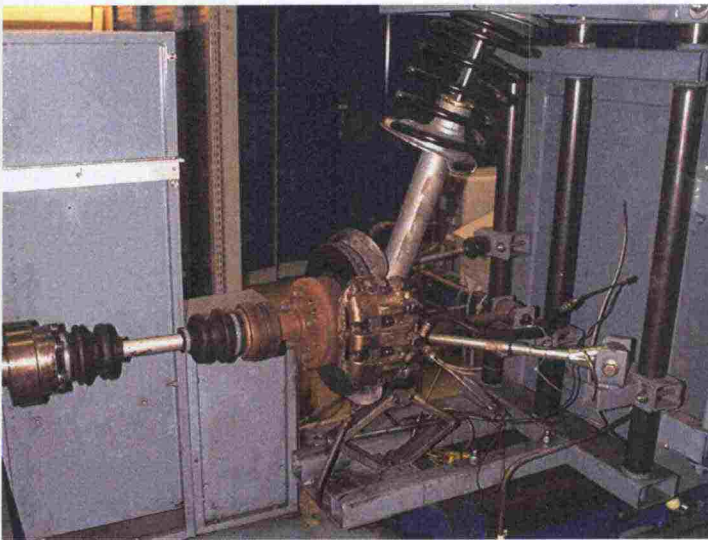
Näiden kahden automerkin kokemusten pohjalta voitiin siis yleisesti olettaa, että tiesuolalla on jarrujen tehoa heikentävä vaikutus. VW:n tutkimusten perusteella voitiin lisäksi olettaa, että kalsiumkloridilla märkänä oli natriumkloridia suurempi vaikutus jarrujen tehoon.

Seuraavassa luvussa on esitelty varsinaiset mittaukset, joilla edellä mainittua aikaisempaa tutkimustietoa oli tarkoitus syventää ja tarkentaa. Luvussa on myös käsitelty mittauksiin liittyvät työvaiheet sekä käytetyt mittavälineet.

5 LABORATORIOMITTAUKSET

5.1 Mittalaitteen esittely ja käytetyt komponentit

Mittalaitteena käytettiin Petri Mustosen insinöörityönä tekemää jarrusimulaattoria. Jarrusimulaattori on rakenteeltaan varsin yksinkertainen ja se soveltuu erilaisiin jarrututkimuksiin. Simulaattori on asennettu pyörille, joten sitä voi kätevästi liikutella. Simulaattoriin on asennettu Volvo 740 -mallin pyöräripustus, joka on edelleen kiinnitettynä liikuteltavaan kelkkaan. Pyörän napa puolestaan on kiinnitetty vetoakselin, joka on yhteydessä simulaattorin voimanlähteeseen eli 30 kW:n sähkömoottoriin.



Kuva 4. Auton jarrujärjestelmä ja pyöräripustus.



Kuva 5. Sähkömoottori ja sen ohjauksesta huolehtiva tietokone.

Jarrutuksessa tarvittavan paineen tuotosta huolehtii ABS-pumppu. Paineentuotto ja erityisesti sen hallinta osoittautuivat alkuperäisessä konstruktiossa hieman ongelmallisiksi. ABS-pumpun tuotto oli liian pieni, jotta paine olisi noussut riittävän nopeasti ja hallitusti onnistuneen jarrutuksen aikaan saamiseksi. Tämän vuoksi paineentuottoa jouduttiin hieman modifioimaan.

Uuden konstruktion suunnittelusta ja rakentamisesta vastasi laboratorionsi-
nööri Vesa Valto. Vanhan järjestelmän solenoidilla ohjattu säätöventtiili kor-
vattiin mekaanisella säätöventtiilillä ja niin ikään mekaanisella sulkuventtiilil-
lä. Säätöventtiilillä säädettiin haluttu maksimipaine ja sulkuventtiilillä ohjattiin
painetta eli käytännössä siis suoritettiin jarrutus. Tällä konstruktiolla päästiin
huomattavasti parempaan paineentuottoon kuin alkuperäisellä, mutta perus-
ongelmaan eli pumpun pieneen tuottoon ei tällä kuitenkaan ollut vaikutusta.
Paineen nousu oli uudella järjestelmällä lähes vakio, mutta maksimipaineen
säädön pysyminen haluttuna tuotti jonkin verran ongelmia. Todennäköisin
syy tähän ilmiöön oli se pumpun tuottoon nähden ylisuurten painejärjestel-
män komponenttien pienetkin muutokset esim. lämpötilassa, saivat aikaan
varsin suuria paineen muutoksia.

Havaittujen ongelmien pohjalta on Helsingin ammattikorkeakoulun autolabo-
ratoriossa tullut esiin ajatus uuden vastaavan tyyppisen mittalaitteen raken-
tamisesta. Mahdollisessa uudessa jarrusimulaattorissa ainakin pumpun olisi
oltava tehokkaampi ja paineen ohjauksen pitäisi tapahtua proportionaalitek-
niikalla. Myös levyn pyörittämisestä vastaavan sähkömoottorin tulisi olla te-
hokkaampi, jotta levy lukkiutuisi vasta suuremmilla paineilla. Nykyisellä
moottorilla lukkiutuminen tapahtuu reilun 30 bar:n paineella, joka ei vastaa
todellisen jarrutuksen painetasoa. Myöskään paineen nousunopeus ei vas-
taa todellisen auton tilannetta.

Alkuperäisessä konstruktiossa varsinaisesta mittaustehtävästä simulaatto-
rissa vastasi Drives Window –tiedonkeruuohjelma. Ohjelman hallinta ja mit-
tauksen ohjaaminen tapahtuivat laitteen yhteyteen liitettyllä tietokoneella.
Drives Window –ohjelmassa valittiin halutut mittasuureet, jotka mittauksen
aikana tulostuvat graafisena kuvaajana näytölle. Näissä mittauksissa käytet-
tiin momentti- ja painesuureita. Valitettavasti myös tiedon keruussa havaittiin
ongelmia. Mittausta suoritettaessa paine tulostui ”porrasmaisesti” puolen se-
kunnin välein, vaikka mittaustiheyden olisi asettanutkin tiheämmälle. ABB:ltä
saatujen tietojen mukaan ongelma johtui vanhan mallin invertteristä, jonka
näytteenottoherkkyys oli 0,5 sekuntia.

Ratkaisuksi ongelmaan kehitettiin ulkopuolinen tiedonkeruujärjestelmä, jon-
ka suunnittelusta vastasi Janne Sarvanne Test Center Tiililästä. ABB:n mit-
takortilta virtasignaali johdettiin vastuksen läpi ja LabView –ohjelman mitta-
kortilla mitattiin jännite-ero vastuksen yli. Jännitesignaali muutettiin edelleen
vastaamaan painetta ja momenttia. Näytteenottotiheydeksi asetettiin 20
näytettä sekunnissa. Uudessa järjestelmässä Drives Window -ohjelmalla
ohjattiin sähkömoottorin toimintaa (käynnistys, sammutus, pyörintänopeuden
säätö) ja varsinainen tiedonkeruu hoidettiin erillisellä tietokoneella ja siinä
olevalla LabView –ohjelmalla.



Kuva 6. Vasemmalla painejärjestelmä ja oikealla tiedonkeruusta huolehtiva tietokone.

Koska simulaattoriin oli asennettu Volvo 740 -mallin pyöränripustus, oli tietysti loogista, että mittauksissa käytettiin kyseisen automallin jarrulevyjä ja -paloja. Jarrusimulaattorin tekemistä tuki aikanaan Helsingin Laakeri nykyään HL-autotuotteet. Siltä löytyivät oikeat komponentit mittauksia varten. Mittauksissa käytettiin Norbit-jarrulevyjä ja Remsa-jarrupaloja. Koska käytettävissä oli kaksi jarrulevyä ja neljä identtistä jarrupalaa, jaettiin komponentit siten, että toista levyä ja kahta jarrupalaa käytettiin natriumkloridi mittauksissa ja vastaavasti toista levyä ja toista kahta palaa käytettiin kaliumkloridi mittauksissa.

5.2 Mittaustapahtuman esittely

Mittaukset etenivät siten, että aluksi levyt piti sisäänajaa eli niillä suoritettiin kevyitä jarrutuksia levyjä kuitenkin liikaa rasittamatta. Varsinainen työvaihe toteutettiin siten, että aluksi toisella levyllä tehtiin kaikki mittaukset kuivuneen suolaliuoksen tapausta lukuun ottamatta, minkä jälkeen levy vaihdettiin ja prosessi aloitettiin alusta. Monen levynvaihdon sijasta yhdellä levyllä kannatti tehdä kaikki tarvittavat mittaukset, jonka jälkeen vaihdettiin toinen levy. Seuraavassa käydään kuitenkin läpi mittausvaiheet siten, että kuivan levyn mittaukset käsitellään molempien levyjen osalta samalla kertaa. Samoin toimitaan märän levyn kohdalla jne.

Ensimmäisenä varsinaisena mittauskohteena oli kuiva levy, jolla oli tarkoitus hakea vertailukohta eli nk. nollakohta suolaliuosta sisältävälle levyille. Jarrutusta varten järjestelmän paine oli säätöventtiilillä säädetty n. 25 bar:n paineeseen. Kuitenkin jo ensimmäisestä mittauksesta lähtien oli havaittavissa, että paineen maksimi arvo vaihteli eri mittauksissa alueella 20...30 bar:a.

Toinen vakioksi säädetty suure mittauksissa oli moottorin ja samalla myös levyn pyörintänopeus. Lähtökohdaksi mittauksissa suunniteltiin jarrutus noin 80 km/h nopeudesta. Tarvittava pyörintänopeus voidaan laskea kaavalla:

$$v = \omega \cdot r$$

jossa

$$\omega = \text{kulmanopeus} = 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$r = \text{renkaan säde}$$

$$v = \text{nopeus}$$

Esimerkiksi rengaskoolla 185/65 R 14 säde on 0,298 m. Tällöin pyörintänopeudeksi nopeudella 80 km/h saadaan:

$$n = \frac{\frac{80}{3,6}}{2 \cdot \pi \cdot 0,298} = 11,87 \frac{1}{s} \Rightarrow 712 \frac{1}{\text{min}}$$

Pyörintänopeudeksi asetettiin 700 kierrosta minuutissa. Tällöin moottorin kierrosnopeus vaihteli välillä 695...705.

Koska myös lämpötila vaikuttaa jarrumomenttiin, tehtiin mittauksia varten yksinkertaistus siten, että lämpötilaa ei otettu funktioksi paineen rinnalle vaan mittaukset toteutettiin niin, että jarrutus aloitettiin aina palojen lämpötilan ollessa $27 \pm 1^\circ\text{C}$. Tämä lämpötila valittiin, koska palojen laahauksen vuoksi niiden lämpötila oli levyn pyöriessä noin 27 astetta. Palojen lämpötilaa seurattiin infrapunalämpömittarilla. Levyn ja palan jäähdytys toteutettiin paineilmalla eli paineilmapistooli puhalsi ilmaa n. 1,5 - 2 bar:n paineella jarrusatulan alapuolelta. Jarruruksissa palojen lämpötila nousi parhaimmillaan noin 40 asteeseen. Todellisissa jarrutuksissa lämmöt ovat huomattavasti korkeammat, jopa useita satoja asteita.

Itse jarrutustapahtuma toteutettiin seuraavasti: moottori käynnistettiin, jolloin sen pyörimisnopeus oli 700 1/min. Samalla käynnistettiin painejärjestelmän pumppu. Jäähdytyspuhallus oli myös koko jarrutuksen ajan päällä. Mittaus käynnistettiin tietokoneen F1-painikkeella. Aina mittausta käynnistettäessä tietokone kalibroi paineanturin, jolloin se käy paineen maksimiarvossa. Kun painetaso oli tasaantunut voitiin aloittaa varsinainen jarrutus. Jarrutuksessa sulkuventtiilin hana käännettiin kiinni, ja samalla paine alkoi nousta. Paineen ja momentin muutosta voitiin seurata tietokoneen näytöltä. Kun paine saavutti maksimiarvon, sulkuventtiili pidettiin vielä hetken aikaa kiinni, jotta paine tasaantui ja nähtiin kuinka momentti kuitenkin jatkoi nousuaan. Jotta levy ei olisi kuumentunut liikaa ja momentti noussut liian korkealle, vapautettiin paine muutaman sekunnin kuluttua. Mittaus lopetettiin painamalla jälleen F1-näppäintä. Kaikkiaan yksi jarrutus kesti noin kymmenen sekuntia.

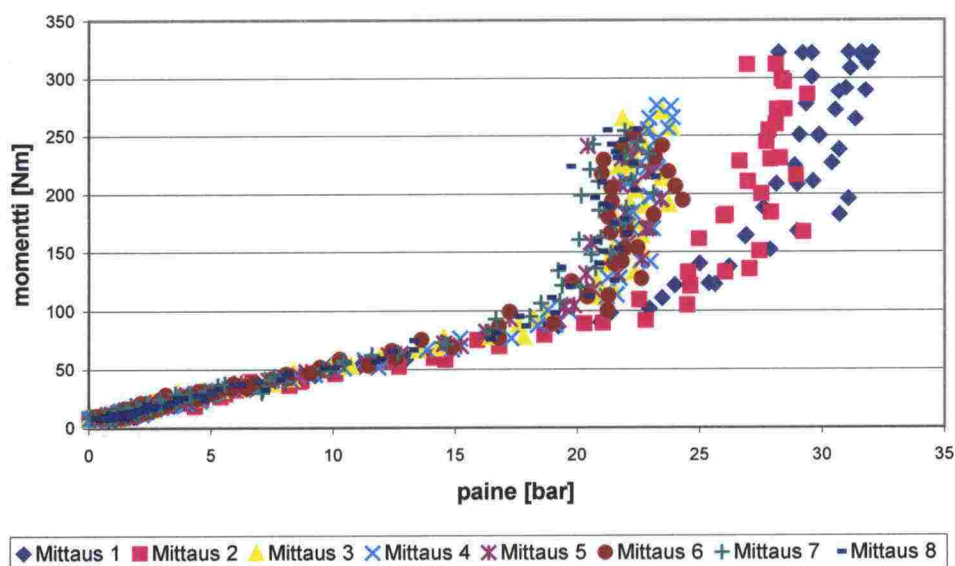
Mittaustulokset tallennettiin DAT-tiedostona tietokoneen kovalevylle. DAT-tiedosto avattiin edelleen Excel-ohjelmassa, jolloin taulukkomuodossa oli mahdollista nähdä paineen ja momentin vastaavuudet. Samassa taulukossa oli myös kierrosnopeus. Edelleen oli Exceliä hyväksikäyttäen mahdollista piirtää saadut mittapisteet samaan kuvaajaan. Näin siis oli mahdollista vielä selvemmin nähdä momentin käyttäytyminen paineen muuttuessa.

5.3 Mittaukset

5.3.1 Kuivan levyn mittaukset

Mittaukset siis aloitettiin toista levyä kuivana jarruttamalla. Mittaustoistoja kertyi kaikkiaan kahdeksan. Jarrutus eteni yllä kuvatun periaatteen mukaisesti kaikissa kahdeksassa jarrutuksessa. Lähtötilanne oli siis kussakin jarrutuksessa sama.

Saatujen mittaustulosten perusteella voitiin piirtää Excelillä kuvaaja, josta käy ilmi momentin muutos paineen funktiona.

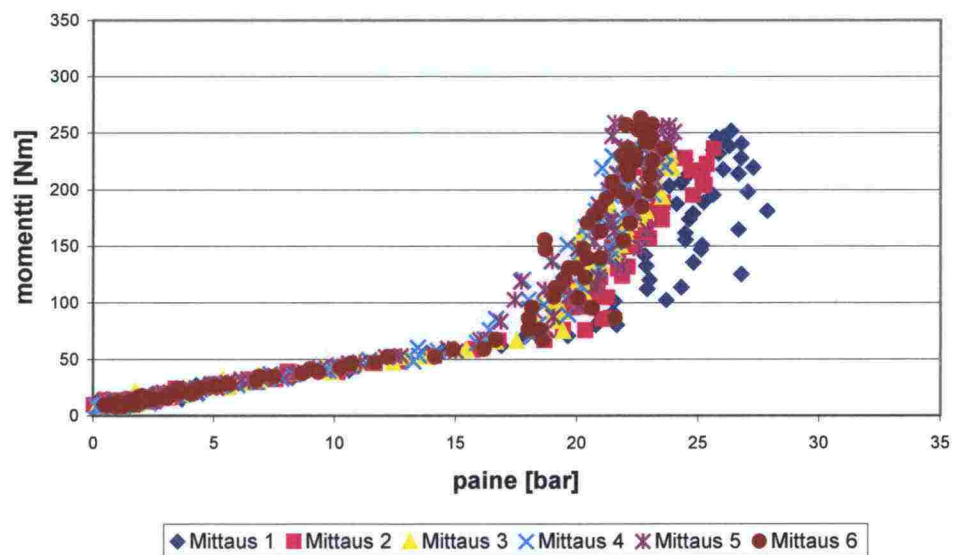


Kuva 7. Momentti paineen funktiona levyllä 1 kuivana.

Kuvaajasta on nähtävissä juuri tuo aikaisemmin mainittu ongelma paineen maksimiarvon vaihtelusta. Kahdessa ensimmäisessä jarrutuksessa paine on noussut lähes 30 bar:iin, vaikka se lähtötilanteessa oli säädetty n. 25 bar:iin. Lopuissa jarrutuksissa taas paine ei edes saavuttanut 25 bar:n tasoa. Hajonta siis korkeammilla paineilla on varsin suurta. Sen sijaan alueella 0 - 20 bar, pisteet ovat vertailukelpoisia keskenään. Lopullisessa tulosten analysoinnissa onkin otettu huomioon vain tämä nk. jarrutuksen aloitus (tarkemmin luvussa 5.4.)

Kuvaajaa yleisesti tarkasteltaessa on huomattavissa jarrutusten trendi hajonnasta huolimatta. Aluksi momentti nousee paineen noustessa melko vakiona. Kun paine saavuttaa säädetyn maksimiarvo, jatkaa momentti kuitenkin nousuaan. Jarrutuksessa levyn ja palan lämpötila kasvaa ja niiden kitkaominaisuudet muuttuvat. Tätä ilmiötä selvitetään jarrujen fadingmittauksissa, joissa tutkitaan mihin lämpötilaan asti momentti jatkaa kasvuaan ja milloin jarrujen lämpötila kasvaa niin suureksi, että niiden teho häipyä lähes kokonaan.

Toiselle levyllä tehtiin vastaavat mittaukset kuivana kuin levyllä 1. Toistoja tähän mittaukseen kertyi kuusi. Etukäteen hieman epäilystä aiheutti se, olisi-ko laitteen toiminnassa tapahtunut joitain muutoksia. Jarrusimulaattorilla nimittäin suoritettiin näiden mittausten välillä autolaboratorioharjoituksia aiheena jarrujen fading-ilmiö. Näiden kokeiden aikana lämpötilat jarrusatulas-
sa, -levyssä ja paloissa nousivat useisiin satoihin asteisiin. Ainakin jossain määrin epäilykset osoittautuivat oikeiksi, nimittäin jarrujen laahaus tuntui huomattavasti voimakkaammalta kuin aikaisemmin. Jarrujen palautustoiminto oli aikaisempaa hankalampaa ilmeisesti liikutappien jumiutumistaipumuksen takia. Mittaukset kuitenkin suoritettiin kuten edelläkin ja saatujen tulosten perusteella voitiin jälleen hahmotella momenttia paineen funktiona Excel-kuvaajaan.



Kuva 8. Momentti paineen funktiona levyllä 2 kuivana.

Vaikka tilanne periaatteessa oli sama kuin levyllä 1 eli jarrutus tapahtui kuivana, siitä huolimatta tässä mittauksessa saadut arvot olivat pienempiä kuin ensimmäisessä mittauksessa. Tarkkaa syytä tähän on vaikea keksiä, mutta tässäkin edellä mainituilla autolaboratorioharjoituksilla, joissa lämpötilat jarruosissa olivat varsin korkeita, voi olla osuutta asiaan. Yhtenä todennäköisenä syynä saattoi olla jo aikaisemmin mainittu jarrusatulan liikutappien jumiutumistaipumus, jolloin palojen puristusvoima saattoi jäädä aikaisempaa alhaisemmaksi. On kuitenkin muistettava, että levyn 2 mittaukset tehtiin kaikki kyseisten laboratorioharjoitusten jälkeen ja näin ollen niiden keskinäinen vertailu on mahdollista.

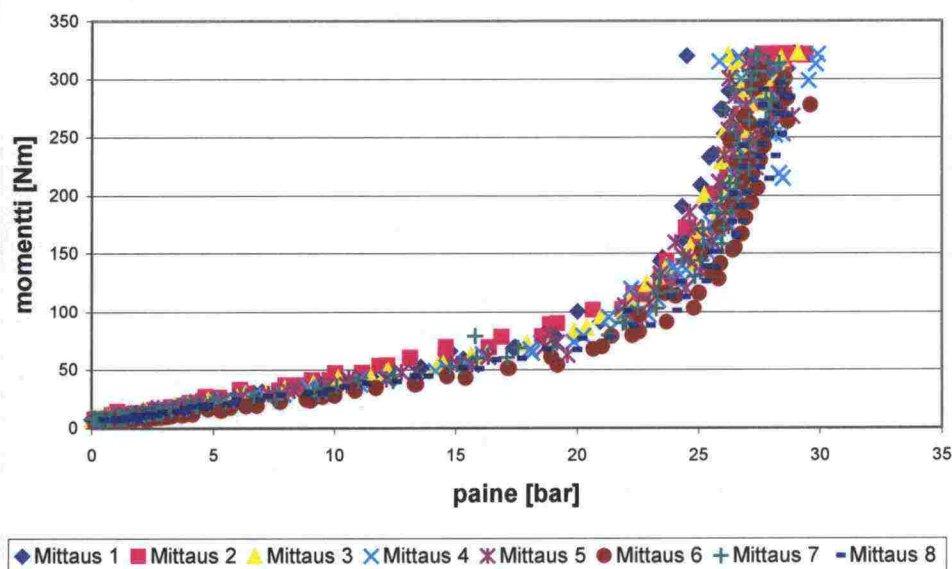
Edelleen jos tätäkin kuvaajaa tarkastellaan yleisesti, on siinä samoin kuin edellisessäkin kuvaajassa havaittavissa momentin muutoksen trendi. Momentti käyttäytyy samalla tavalla kuin levyn 1 kohdalla, eli momentti kasvaa paineen noustessa melko vakiona ja samalla tavalla momentti jatkaa kasvuaan paineen saavutettua maksimipisteen. Paineen maksimiarvon paikallaan pysymisen vaikeus oli tässäkin mittauksessa havaittavissa selkeästi.

5.3.2 Märän levyn mittaukset

Seuraavia mittausvaiheita varten jouduttiin suorittamaan suojaustoimenpiteitä eli jarrulevyn ympäristö suojattiin kaikista suunnista siten, että jatkossa käytetty vesi ja erityisesti suolaliuokset eivät päässeet roiskumaan hallitsemattomasti. Suojaus toteutettiin yksinkertaisesti muovisilla jätessäkeillä ja ilmastointiteipillä. Lisäksi muovien päälle asetettiin sanomalehtipaperia imeämään kosteutta.

Tässä mittausvaiheessa oli siis tarkoitus selvittää, millä tavalla pelkkä vesi vaikutti jarrujen toimintaan. Veden suihkuttaminen levyn pinnalle ei ollut jatkuvaa, vaan se toteutettiin käsikäyttöisellä suihkepullolla. Aluksi levyä kasteltiin moottori pysähdyksissä niin, että levyn pinnassa oli selvästi nähtävissä ohut vesikerros. Jo tässä vaiheessa levyä käsin pyöritettäessä tuntui kuinka levyn ja palan väliin päässyt vesi kevensi pyöritystä varsin selvästi. Näin siis saattoi olettaa, että myös varsinaisissa mittauksissa olisi odotettavissa vastaava ilmiö. Tämän jälkeen moottori käynnistettiin ja levyn pyöriessä sen kastelua jatkettiin vuoroin molemmilta puolilta. Useiden vesisuihkujen jälkeen suoritettiin nopeasti mittauksen käynnistys ja samalla suljettiin sulkuventtiiliin hana, jolloin paine lähti nousemaan. Paineen annettiin nousta maksimiarvoonsa ja tasaantua siihen. Kun paine oli tasaantunut, sulkuventtiili avattiin ja mittaus lopetettiin. Märän levyn mittauksessa itse mittaustapahtuma oli vesisuihkutusta lukuun ottamatta täysin sama kuin kuivalla levylläkin. Jarrutuksia tässä mittauksessa suoritettiin kahdeksan.

Kuten aikaisemminkin tässäkin mittauksessa mittaustulos tallennettiin DAT-tiedostona kovalevylle ja avattiin uudelleen Excel-ohjelmassa. Näin saatiin jälleen graafisessa muodossa haluttu tieto eli momentin muutos paineen funktiona.

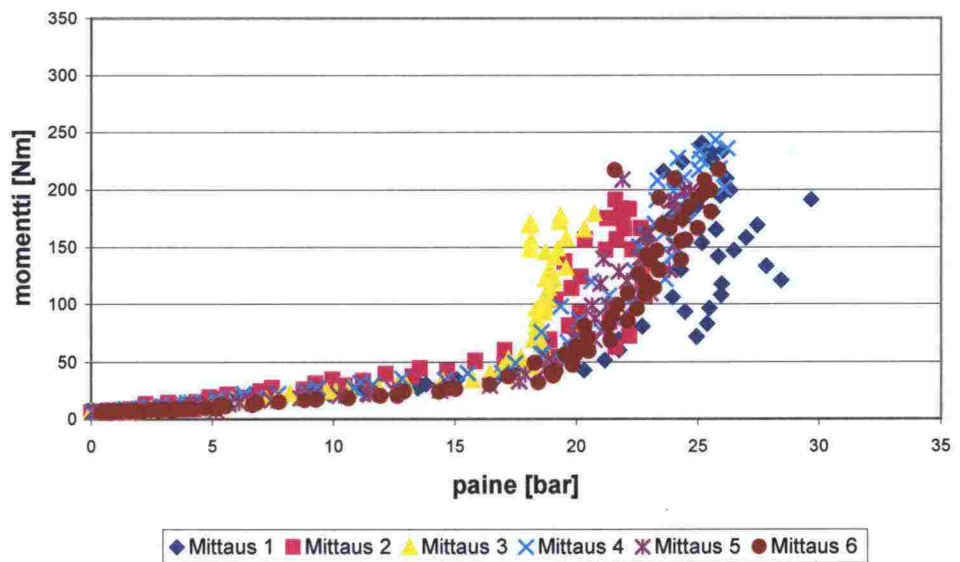


Kuva 9. Momentti paineen funktiona levyllä 1 märkänä.

Kuvaajaa tarkasteltaessa huomataan, että tässä mittauksessa paineen säädetty maksimiarvo on pysynyt kohdallaan n. 26 - 27 bar:ssa. Ei-toivottua paineen vaihtelua ei siis tässä mittaussarjassa tapahtunut. Verrattaessa kuivalla levyllä suoritettuihin jarrutuksiin havaitaan jälleen momentin käyttäytymisen trendi, jonka muoto samankaltainen kuin kuivalla levylläkin, mutta selvästi on havaittavissa, että paineen nousuvaiheessa märällä levyllä momentin arvot ovat alhaisempia kuin kuivalla. Näin voitiin siis olettaa, että juuri jarrutuksen aloitusvaihe on se kriittinen vaihe, jolloin levyn pinnassa oleva kosteus vaikuttaa jarrutustapahtumaan. Jarrutuksen edetessä levy lämpee ja siinä oleva vesi haihtuu. Tämä ilmiö on tuttu esimerkiksi auton pesun jälkeen, jolloin levyn pinnalla oleva kosteus vaikuttaa niin, että aluksi tuntuu kuin jarruja ei olisi ollenkaan, mutta kun jarrut lämpiävät, niin tapahtuukin yhtäkkinen momentin kasvu.

Levyllä 2 suoritettiin niin ikään mittaukset levy märkänä. Kuten edellä todettiin levyä 2 kuivana jarrutettaessa, palojen laahaaminen märkänä oli voimakasta. Tämä aiheutti epäilystä siitä, että palat pyyhkisivät vesikalvon pois levyn pinnalta jo ennen jarrutusta ja toisaalta, että laahaaminen lämmittäisi levyä niin paljon, että siinä oleva vesi haihtuisi pois. Ainakin osaltaan epäilyt osoittautuivat aiheettomiksi, koska levyä kasteltaessa samalla käsin pyöritettäessä oli havaittavissa sama ilmiö kuin edelläkin eli kitka levyn ja palan välissä pieneni veden vaikutuksesta.

Jälleen itse jarrutus tapahtui vastaavalla tavalla kuin aikaisemminkin. Exceliä hyväksikäyttäen saatiin jälleen haluttua tietoa graafisessa muodossa. Kuvaajassa on kuuden jarrutuksen mittapistet.



Kuva 10. Momentti paineen funktiona levyllä 2 märkänä.

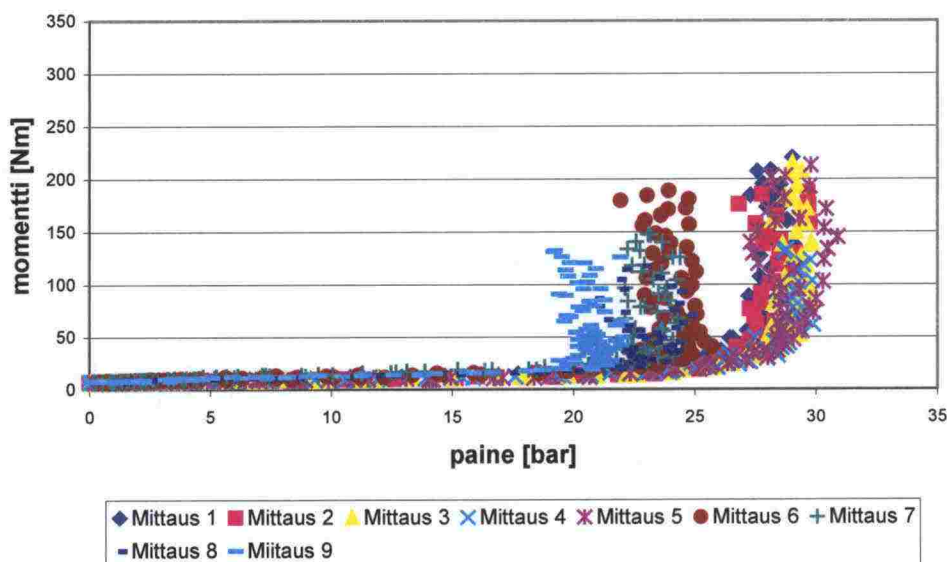
Tässä kuvaajassa silmiinpistävää on jälleen paineen varsin suuri hajonta säädettyssä maksimiarvossa. Tästä huolimatta kuvaajasta on nähtävissä selvästi momentin muutos, joka käyttäytyy kuten aikaisemmissakin mittauksissa. Paineen nousuvaiheen momentteja verrattaessa kuivan levyn tilanteeseen havaitaan, että tässäkin mittauksessa vesi heikensi jarrutusmomenttia eli momentin arvot pienempiä kuin kuivalla levyllä. Samalla on kui-

tenkin huomattava, että verrattaessa levyn 2 mittausta levyn 1 mittaukseen, havaitaan tulosten olevan alhaisempia kuten kuivana jarrutettaessakin. Syyinä tähän lienee juuri nuo edellä mainitut laboratoriomittaukset. Vertailujen kannalta olennainen tieto tästäkin mittauksesta saatiin nimenomaan paineen nousu vaiheesta.

5.3.3 Mittaukset suolaliuoksilla

Mittauksien seuraava vaihe käsitti vastaavia jarrutuksia kuin edellä siten, että tällä kertaa levyn pintaan suihkutettiin suolaliuosta. Ensiksi toista levyä eli nk. levyä 1, kasteltiin kalsiumkloridiliuoksella. Mittauksissa käytetty kalsiumkloridiliuos oli valmista 32-prosenttista liuosta ja se hankittiin Tieliikelaitoksen Hakunilan tukikohdasta. Liuoksen suihkutusta levyille suoritettiin samalla suihkepullolla ja periaatteella kuin pelkän veden tapauksessakin. Aluksi siis levyä kasteltiin moottori pysähdyksissä ja levyä käsin pyörittäen niin, että levyn pinta oli kostea. Tämän jälkeen moottori käynnistettiin ja suihkusta jatkettiin levyn molemmilta puolilta vuoron perään.

Jarrutus aloitettiin nopeasti ensin käynnistämällä mittaus ja sen jälkeen sulkemalla sulkuventtiili. Paineen annettiin kuten edellä nousta jälleen maksimiarvoonsa. Painea pidettiin yllä hetken aikaa, minkä jälkeen sulkuventtiili avattiin ja mittaus pysäytettiin. Mittaustulos tallennettiin ja tulosten perusteella piirrettiin kuvaaja. Tällä kertaa toistoja tehtiin kaikkiaan yhdeksän, joista viisi ensimmäistä samalla kertaa ja loput neljä jäähdytykseen käytetyn paineilman loppumisen takia toisena kertana.

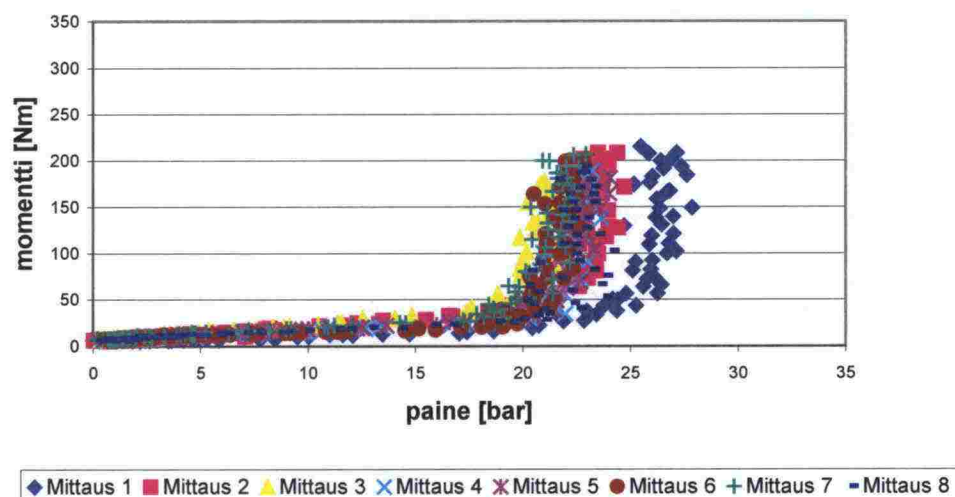


Kuva 11. Momentti paineen funktiona kalsiumkloridiliuoksella kasteltuna.

Vaikka asetukset molempia jarrutussarjoja aloitettaessa olivat samat, siitä huolimatta jälkimmäisen kerran paineen hajonta oli huomattavasti suurempi ja maksimiarvo alhaisempi. Kaikesta tästä huolimatta nyt mittauksissa oli selvästi havaittavissa se, että kalsiumkloridiliuoksen kanssa jarrumomentin kasvu oli todella hidasta. Paineen nousuvaiheessa tuntui kuin jarrutus ei alkaisi ollenkaan. Paineen maksimiarvossa mitä todennäköisimmin levyn lämpimisen ja kuivumisen ansiosta palan ja levyn välinen kitka kasvoi ja näin

ollen siis myös momentti lähti nousuun. Tämä tapahtui joka tapauksessa paljon hitaammin kuin esimerkiksi kuivalla tai jopa märällä levyllä. Jatkoanalysointia varten ratkaisevaa näissäkin mittauksissa oli jarrutuksen aloitus.

Toisena suolana mittauksissa oli natriumkloridi, jota oli rakeisena hankittu samasta paikasta kuin kalsiumkloridiliuos. Natriumkloridista valmistettiin n. 33-massaprosenttista liuosta. Veden ja suolan massat mitattiin vaa'alla ja ne sekoitettiin yhteen muovikanisterissa. Aivan kaikki rakeet eivät lienneet veteen, mutta liuos oli sama kaikissa mittauksissa, joten näin ollen sitä voitiin pitää riittävän tasalaatuisena. Kuten kalsiumkloridiliuosta myös tätä liuosta suihkutettiin suihkepullolla. Ja toimenpiteet muutenkin mittauksen aikana vastasivat kalsiumkloridin kanssa suoritettuja toimenpiteitä. Nyt mittauksissa käytettiin levyä 2. Jarrutustoistoja natriumkloridiliuoksella kastellulla levyllä suoritettiin yhteensä kahdeksan.



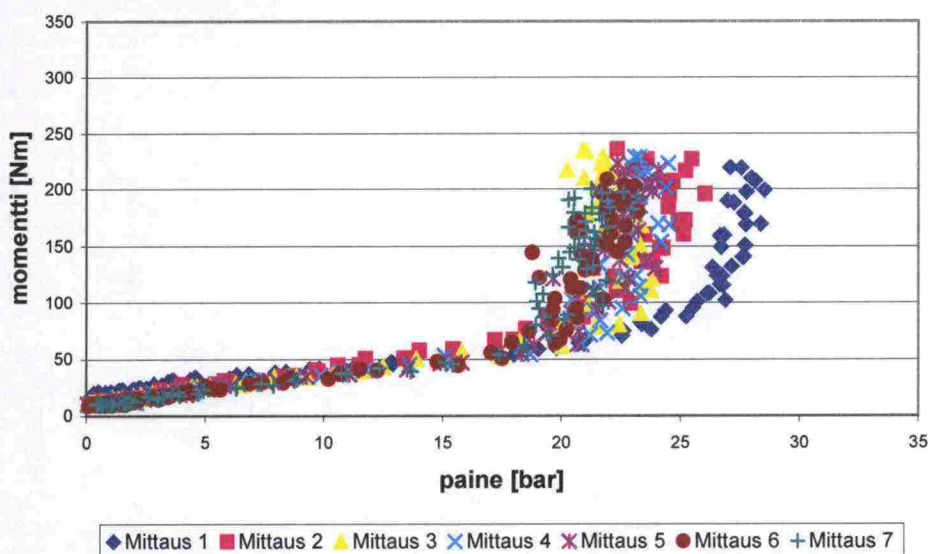
Kuva 12. Momentti paineen funktiona natriumkloridiliuoksella kasteltuna.

Natriumkloridillakin oli selvästi mittauksia tehtäessä havaittavissa momentin nousun hitaus, mutta ei kuitenkaan aivan yhtä selvästi kuin kalsiumkloridilla. Myös tässä mittauksessa, kuten lähes kaikissa muissakin, paineen hajonta oli jälleen nähtävissä. Koska nämä mittaukset tehtiin levyllä 2, on muistettava, että sekä kuivalla että märällä levyllä tulokset ovat jonkin eronneet levyn 1 mittauksista. Näin ollen levyllä 2 suoritettuja natriumkloridimittauksia ei voi aivan suoraan verrata levyllä 1 suoritettuihin kalsiumkloridimittauksiin. Kuviin perusteella voitaneen kuitenkin olettaa, että natriumkloridin vaikutus jarrujen tehoon on kalsiumkloridia pienempi.

5.3.4 Kuivan suolan mittaukset

Viimeisessä mittausosiossa selvitettiin, miten levyn pinnalle kuivunut suola vaikutti jarrujen toimintaan. Kun levyllä 1 suoritettut mittaukset olivat päättyneet ja jarrusimulaattoriin vaihdettiin levy 2, kasteltiin levy 1 kalsiumkloridiliuoksella ja jätettiin kuivumaan. Periaatteena oli seurata jarrutuksia toistamalla momentin muutosta eri jarrutusten kesken ja samalla tarkkailla levyn pinnan puhdistumista. Käytännössä kaliumkloridi ei missään vaiheessa täy-

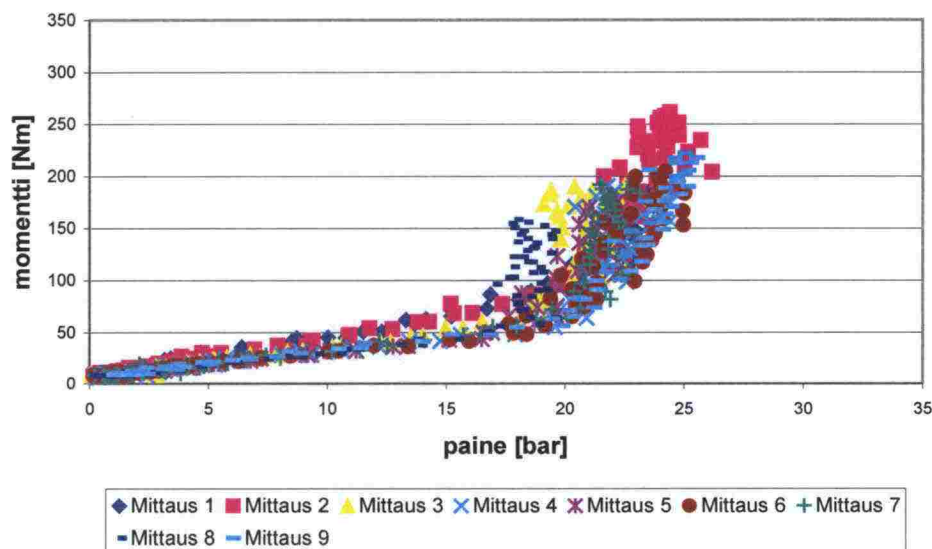
sin kuivunut levyn pintaan, mutta kuitenkin siinä määrin riittävästi, että mittaukset voitiin suorittaa. Tosin kun kuivunutta levyä tarkasteli ennen mittauksia, tuntui se lähinnä siltä, että kyseessä oli pelkästään ruostuneen levyn mittaaminen. Ennen kuin moottori käynnistettiin, niin levyä käsin pyöritettäessä tuntui todella voimakas laahaus, joka johtui mitä todennäköisimmin varsin paksusta ruostekerroksesta levyn pinnassa. Toistoja kertyi kaikkiaan 7, joista viimeinen erosi siten, että ennen sitä levy puhdistettiin jarrujenpuhdistussprayllä. Samalla oli siis tarkoitus myös tutkia, muuttuiko jarrutus käytettäessä puhdistusainetta. Periaatteet ja toimenpiteet jarrutuksissa eivät eronneet millään tavalla aikaisemmasta ja samalla tavalla tulosten perusteella piirrettiin kuvaajat.



Kuva 13. Momentti paineen funktiona kuivuneen kalsiumkloridin tapauksessa.

Jälleen kerran paineen hajonta maksimiarvolla oli varsin voimakasta. Joka tapauksessa tämänkin kuvan perusteella voitiin havaita ilmiö, joka oli yhtenäinen kaikkiin aikaisempiin mittauksiin. Momentti kasvoi paineen noustessa ja jatkoi nousuaan paineen saavutettua maksimikohdan. Selvästi oli myös havaittavissa ero määrän kalsiumkloridin tilanteeseen, jolloin momentin nousu oli todella hidasta. On huomattava, että tämä mittaus suoritettiin aikaisemmin mainittujen autolaboratorioharjoitusten jälkeen, joten tätä mittausta ei voi pitää täysin vertailukelpoisena muihin levyllä 1 suoritettuihin mittauksiin. Jos sen sijaan otetaan vertailukohdaksi levyn 2 tilanne kuivana, huomataan, että tulokset asettuvat karkeasti arvioiden hieman niiden alapuolelle. Viimeisen jarrutuksen, jolloin levy puhdistettiin, tulos ei näytä eroavan ratkaisevassa määrin muista jarrutuksista tässä kuvaajassa.

Levyllä 2 suoritettiin natriumkloridiliuoksen kanssa vastaavanlainen mittaus-tapahtuma. Eli siis irrotettu levy kasteltiin suolaliuoksella ja sen annettiin kuivua. Verrattuna kalsiumkloridiin levyn pinta kuivui täysin, mutta samoin kuin kalsiumkloridin kohdallakin levy oli varsin ruosteinen. Kun levy oli asennettu paikalleen, saattoi jälleen käsin levyä pyörittäen havaita varsin voimakkaan palojen laahaamisen. Mitä todennäköisimmin syynä tähän oli levyn pinnalle muodostunut ruostekerros. Jarrutuksia toistamalla oli määrä tutkia mihin suuntaan levyn jarrutusominaisuudet muuttuivat. Toistoja kertyi kaikkiaan yhdeksän ja ennen viimeistä jarrutusta levy puhdistettiin. Saatujen tulosten perusteella voitiin piirtää mitta-pisteet samaan kuvaajaan.



Kuva 14. Momentti paineen funktiona kuivuneen natriumkloridin tapauksessa.

Hajontaa on jälleen havaittavissa, mutta ei kuitenkaan niin paljoa kuin useissa muissa tapauksissa. Kuvaa tarkasteltaessa huomataan momentin käyttäytyvän jälleen samalla periaatteella kuin aikaisemminkin. Edelleen tarkasteltaessa voidaan huomata, että kahden ensimmäisen jarrutuksen tulokset paineen nousuvaiheessa näyttäisivät eroavan muista jonkin verran. Todennäköisesti levyn pinnalla oleva ruostekerros on osaltaan vaikuttanut tähän. Sen sijaan viimeinen eli puhdistuksen jälkeinen mittaus ei näyttäisi eroavan millään tavalla tässäkin mittauksisarjassa.

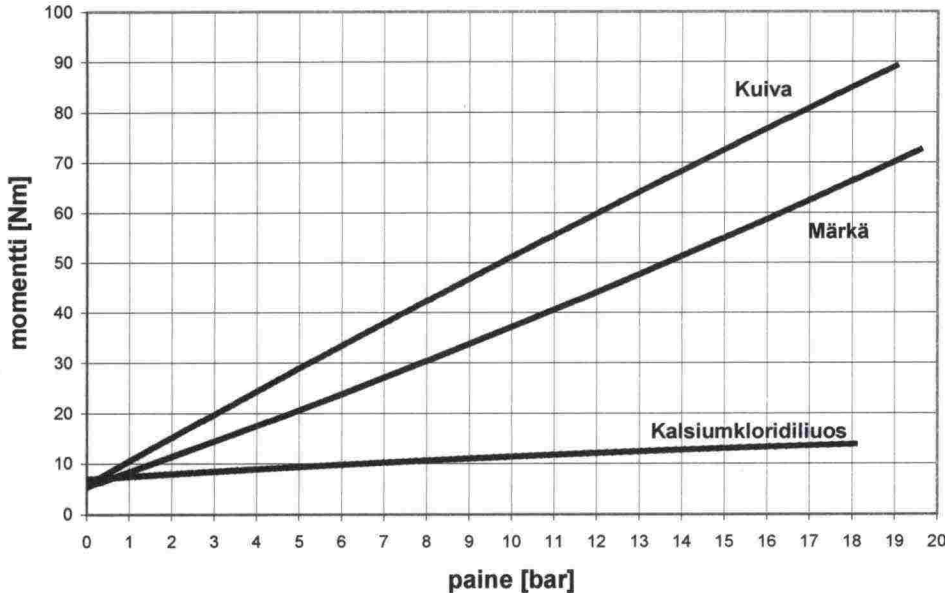
Tehtyjen mittausten pohjalta voitiin lähteä analysoimaan ja vertailemaan tuloksia tarkemmin. Tulosten kannalta paras tarkastelukohde oli paineen nousuvaihe, joka oli verrattavissa jarrutuksen aloittamiseen autolla.

5.4 Mittaustulosten analysointi

Asetettujen painerajojen säilymisessä ilmenneiden ongelmien sekä toisaalta mittaustulosten tarvitun ajan puuttumisen takia oli järkevää keskittyä tulosten tarkemmassa analysoinnissa ainoastaan jarrutuksen alkuosaan eli painealueelle 0...19 bar. Osaltaan tätä puolsivat myös se, että jarrusimulaattorin maksimipaine- ja momenttitasot eivät vastanneet oikeaa jarrutustilannetta sekä erityisesti jarrutuksen alkuvaiheen kriittisyys viiveiden kannalta. Vaikka näissä mittauksissa käytetyn jarrusimulaattorin paineen nousunopeus ei vastaa sekään oikean auton tilannetta, voidaan tulosten perusteella kuitenkin arvioida eroja eri olosuhteiden välillä esimerkiksi äkkijarrutuksessa.

Ensimmäisenä tarkasteluun otettiin levyn 1 mittaus kuivana. Kuivan levyn mittaaminen oli ns. nollakohta muille mittauksille. Tarkastelua varten aikaisempi kuvaaja katkaistiin noin 19 bar:n kohdalla. Saatua pisteparvea käsiteltiin niin, että parven keskimääräistä muutosta kuvasi toisen asteen trendikäyrä. Sama tehtiin myös muille levyn 1 mittaustuloksille eli märän levyn ja kalsiumkloridiliuoksella kastellun levyn tapauksille. Näissäkin mittauksissa käsitteilyyn otettiin jarrutuksen alkuosa eli painealue 0...n. 19 bar. Saatujen pisteparvien keskimääräinen muutos kuvattiin trendikäyrällä.

Nyt oli siis saatu kolmen eri tilanteen jarrutuksien kuvaajat ja ne voitiin silmä määräisen vertailun helpottamiseksi piirtää samaan kuvaajaan.



Kuva 15. Momentti paineen funktiona levyllä 1 eri tilanteissa.

Kuvasta nähdään, että jo pelkällä vedellä on vaikutusta jarrujen tehoon, mutta todella merkittävä jarrujen tehon heikkeneminen tapahtuu, jos jarrulevyn ja -palan väliin pääsee kalsiumkloridiliuosta. Käytännössä maanteillä oleva kalsiumkloridi ei ole yhtä väkevää (32-prosenttista) kuin mitä mittauksissa käytettiin, mutta tulos kuitenkin kertoo sen, että suolaliuoksella on vaikutusta. Kuvasta näkyy myös selvästi se, että käyrien alkupiste on noin seitsemän Nm:n kohdalta. Tämä on ns. alkumomentti johtui mm. laakerikitkasta sekä palojen laahaamisesta.

Kuvaajaa numeerisesti analysoitaessa voidaan tutkia momentin nousunopeutta. Koska painejärjestelmän tuottaman paineen nousunopeus oli lähes vakio, voidaan siis kuvassa olevien jarrutusten kesto olettaa samansuuruisiksi. Jos verrataan nousua välillä 0 – 17 bar, niin lähes lineaarisesti muuttuville momenteille keskimääräinen kasvunopeus.

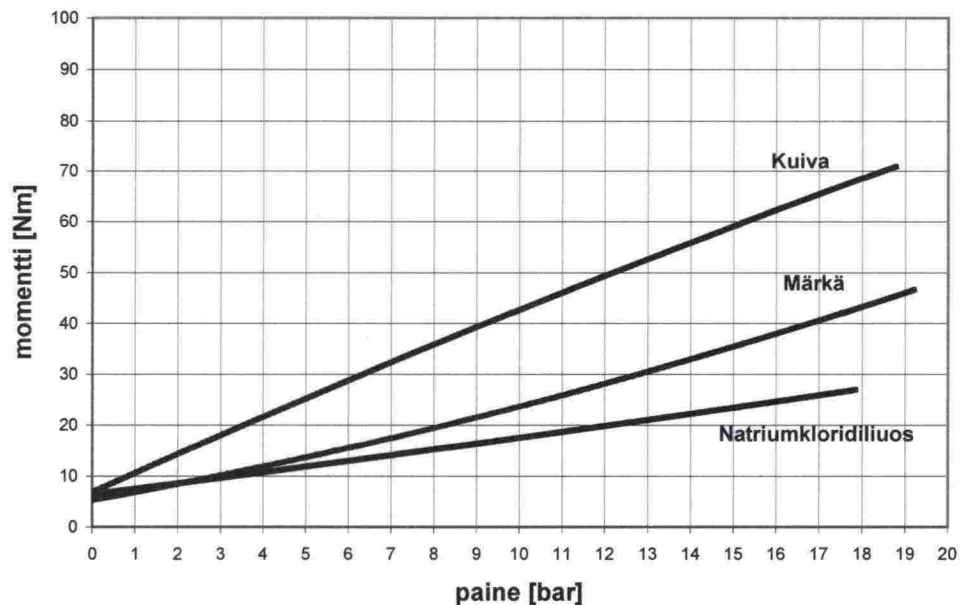
$$\text{kuiva} \approx \frac{81 - 7}{17} \approx 4,35 \text{ Nm/bar}$$

$$\text{märkä} \approx \frac{62 - 7}{17} \approx 3,24 \text{ Nm/bar}$$

$$\text{kalsiumkloridiliuos} \approx \frac{14 - 7}{17} \approx 0,41 \text{ Nm/bar}$$

Märän levyn jarrutusmomentin kasvunopeus alenee siis 25 % ja kalsiumkloridin tapauksessa peräti 90 % verrattuna kuivaan levyyn.

Analysointia varten myös levyllä 2 suoritettut mittaukset otettiin käsittelyyn "katkaistuina" eli huomioon otettiin vain paineen nousuvaihe. Vastaavalla tavalla kuin levyllä 1, tässäkin kustakin mittaussarjasta muodostui pisteparvi, jonka keskimääräistä muutosta kuvattiin toisen asteen trendikäyrällä. Kun käyrät piirrettiin samaan kuvaajaan, voitiin jälleen helposti silmämääräisesti arvioida eroja eri tilanteiden välillä.



Kuva 16. Momentti paineen funktiona levyllä 2 eri tilanteissa.

Verrattaessa levyn 2 kuvaajaa levyn 1 kuvaajaan huomataan selkeästi sekä kuivan että märän jarrutuksen käyrien olevan alempana kuin levyllä 1. Syynä tähän on todennäköisimmin autolaboratorioharjoitusten seurauksena tapahtuneet muutokset laitteen toiminnassa, kuten jo aikaisemmin on tullut todettua. Mikäli tarkastellaan ainoastaan tätä kuvaajaa, nähdään siinä sama suuntaus kuin edellisessä kuvaajassakin, eli kuivalla levyllä saavutetaan paras jarrutusmomentti, märällä jonkin verran heikompi ja jälleen suolaliuoksella, tässä tapauksessa natriumkloridilla, on suurin vaikutus jarrumomentin heikkenemiseen. Heikennys ei kuitenkaan vaikuta aivan yhtä suurelta kuin kalsiumkloridilla. Asiaa voidaan jälleen selkiyttää laskemalla kunkin tilanteen keskimääräinen momentinnousunopeus. Nyt on siis muistettava, että nousunopeus on pienempi kuin levyllä 1, koska momentin arvot ovat pienempiä.

$$\text{kuiva} \approx \frac{66 - 7}{17} \approx 3,47 \text{ Nm/bar}$$

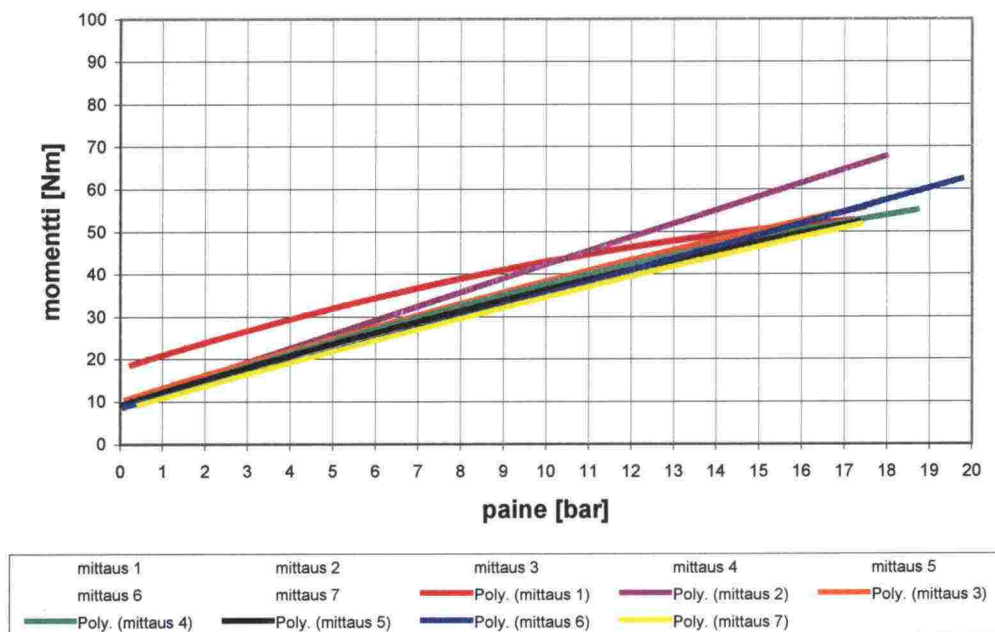
$$\text{märkä} \approx \frac{41 - 7}{17} \approx 2,00 \text{ Nm/bar}$$

$$\text{natriumkloridiliuos} \approx \frac{26 - 7}{17} \approx 1,12 \text{ Nm/bar}$$

Levyllä 2 muutokset ovat prosentteina: märkä 42 % ja natriumkloridi 68 % pienempi. Tarkkaa syytä märän levyn erisuuruiseen tulokseen levyn 1 ja levyn 2 välillä on vaikea arvioida, mutta ilmeisesti jo aikaisemmin mainituilla syillä on osuutensa tässäkin. Natriumkloridilla ei siis näyttäisi olevan aivan yhtä suurta vaikutusta jarrujen tehon heikkenemisessä kuin kalsiumkloridilla suhteessa kuivaan levyyn.

Viimeisinä mittauksina tarkempaan analyysiin otettiin tilanteet, joissa jarrutukset oli suoritettu siten, että levyn pinnalla oli kuivunutta suolaliuosta. Levy 1 käsiteltiin kalsiumkloridiliuoksella ja sen annettiin kuivua. Vastaavalla tavalla käsiteltiin levy 2, mutta siinä levyn pinta kasteltiin natriumkloridiliuoksella ja annettiin samoin kuivua.

Seuraavassa kuvaajassa on levyn 1 jarrutukset alueella 0 – n. 19 bar. Kuvan käyrät kuvaavat momentin keskimääräistä muutosta.

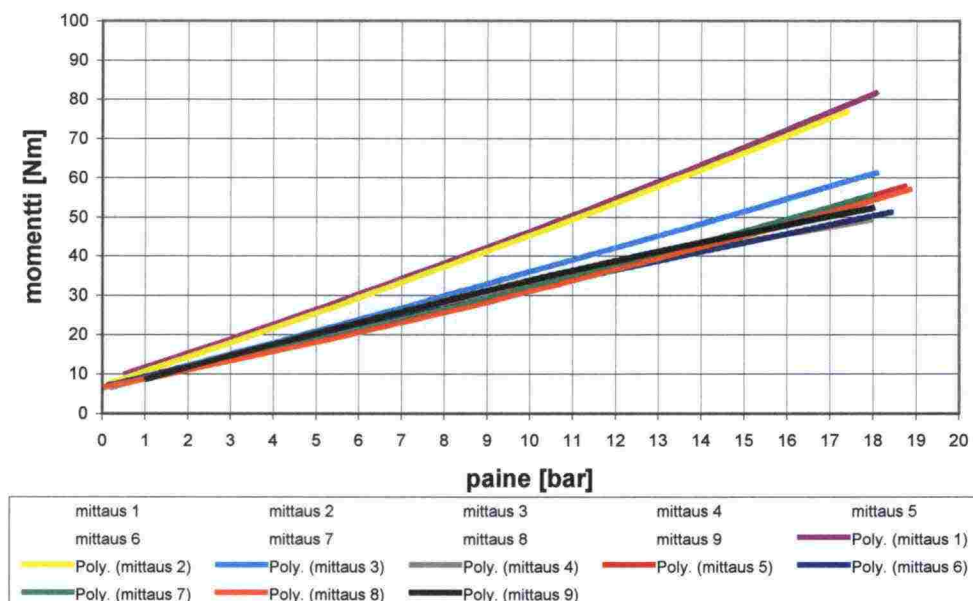


Kuva 17. Momentti paineen funktiona, kun levyn pintaan on kuivunut kalsiumkloridia.

Kuten jo aikaisemmin todettiin levyn pinta ruostui varsin voimakkaasti kuivumisen aikana. Mittauksia aloitettaessa levyn pinnan paksu ruostekerros aiheutti palojen laahaamista tavallista enemmän. Tämä näkyy kaikissa jarrutuksissa lähtömomentin korkeana arvona verrattuna aikaisempiin mittauksiin. Erityisesti se korostuu ensimmäisessä jarrutuksessa, jossa juuri jarrutuksen alkutilanteen momentti on huomattavan korkea. Toisen jarrutuksen käyrä käyttäytyy puolestaan täysin päinvastaisella tavalla. Siinä momentti nousee poikkeuksellisesti paineen nousun loppuvaiheessa. Mitä ilmeisimmin tässäkin juuri paksulla ruostekerroksella oli merkitystä. Kahden ensimmäisen jarrutuksen jälkeen ruostekerros oli puhdistunut kitkapinnoilta lähes kokonaan. Tämä näkyikin seuraavissa jarrutuksissa joissa erot jarrutusten välillä muodostuivat melko pieniksi. Myöskään viimeinen jarrutus eli puhdistetulla levyllä suoritettu jarrutus, ei eronnut ratkaisevasti muista.

Koska nämä mittaukset suoritettiin aikaisemmin mainittujen laboratorioharjoitusten jälkeen, oli järkevää verrata saatuja tuloksia erityisesti levyllä 2 suoritettuihin mittauksiin. Tällöin huomataan, että jarrutusmomentti ei saavuta kuivan levyn tilannetta kuin ruosteisena. Useita jarrutuksia toistettaessa momentti vakiintuu jonkin verran kuivan levyn tilannetta alemmalle, mutta kuitenkin märän levyn tilannetta korkeammalle. Edes jarrulevyn puhdistus jarrusprayllä ei näyttäisi muuttavan tilannetta. Vaikka toistoja tässä mittauksessa oli vain seitsemän, ilmeistä on, että vasta levyn pinnan jonkinasteinen kuluminen muuttaa tilannetta parempaan. Näin voidaan siis olettaa, että ainakin tilapäisesti jarrujen teho on heikompi, kun ne ovat altistuneet kalsiumkloridiliuokselle ja se on kuivunut levyn pintaan.

Levy 2 kasteltiin natriumkloridiliuoksella ja sen annettiin kuivua. Levyn kaksi mittaustuloksia käsiteltiin analysointia varten samalla tavalla kuin edellisessä tapauksessakin. Käyrät siis kuvaavat momentin keskimääräistä kasvua kussakin jarrutuksessa.



Kuva 18. Momentti paineen funktiona, kun levyn pintaan on kuivunut natriumkloridia.

Myös levyllä 2 ruostuminen oli selvästi havaittavissa, mutta ruostekerros ei ollut aivan yhtä paksu kuin kalsiumkloridilla. Samoin tässäkin mittauksessa oli havaittavissa palojen laahaaminen tavallista voimakkaammin käsin pyöritettäessä. Varsinaisissa jarrutuksissa jälleen kahden ensimmäisen jarrutuksen tulokset eroavat varsin selvästi muista. Niissä momentti nousee jopa korkeammalle kuin samalla levyllä suoritetuissa kuivan levyn mittauksissa. Todennäköisimmin se johtuu levyn pinnan ruostekerroksesta kuten kalsiumkloridin tapauksessakin.

Jarrutuksia toistettaessa havaitaan vastaava ilmiö kuin edellä eli momentin arvot laskevat ja neljännessä jarrutuksesta alkaen vakiintuvat tasolle, joka on karkeasti kuivan ja märän tilanteen puolivälissä. Ja kuten ei edellisessä mittauksessa, niin ei tässäkään jarrujen puhdistuksella näyttäisi olevan vaikutusta. Jarrujen teho voi siis olla tilapäisesti heikompi ko. tilanteessa. Verrattaessa tätä tilannetta kuivan kalsiumkloridin tilanteeseen, näyttäisivät natriumkloridin arvot jäävän aavistuksen kalsiumkloridin arvojen alapuolelle. Tätä voidaan jälleen selvittää vertailemalla momentin kasvunopeuksia.

$$\text{kuiva kalsiumkloridi} \approx \frac{52-10}{17} \approx 2,47 \text{ Nm/bar}$$

$$\text{kuiva natriumkloridi} \approx \frac{50-9}{17} \approx 2,41 \text{ Nm/bar}$$

Ero on siis varsin marginaalinen, ja osittain tulos selittyy hajonnasta, mutta voidaan kuitenkin olettaa, että saatu tulos vastaa eroa eri tilanteiden jarrutuksissa kalsiumkloridin hyväksi. Verrattuna levyn 2 mittauksiin kuivana on siis sekä kuivuneen kalsiumkloridin että kuivuneen natriumkloridin heikennys jarrutustehoon noin 30 prosenttia.

Vaikka levyjen 1 ja 2 mittauksia ei täysin voikaan verrata toisiinsa, voidaan niiden perusteella kuitenkin tehdä joitain johtopäätöksiä. Ensinnäkin suola vaikuttaa selvästi heikentäen jarrujen tehoa verrattuna kuivaan ja jopa märkään levyyn. Lisäksi voidaan olettaa, että kalsiumkloridilla on natriumkloridia suurempi vaikutus jarrujen tehon heikkenemiseen, kuten mittauslähdekohdissa aikaisempien tutkimustietojen perusteella oletettiin. Myös levyn pintaan kuivunut suola vaikuttaa jarruihin niiden tehoa heikentävästi. Tällaisessa tilanteessa jarrujen teho on jonkin verran kuivaa heikompi, mutta kuitenkin märkää parempi. Ero eri suolojen välillä oli varsin pieni kalsiumkloridin hyväksi.

6 LOPPUYHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä oli tarkoitus selvittää, minkälaisia vaikutuksia teiden liukkaudentorjuntaan käytetyillä suoloilla on auton jarruihin. Työn tavoitteena oli saada vastaus kahteen kysymykseen: vaikuttaako suola heikentävästi jarrujen tehoon ja jos vaikuttaa, niin kuinka paljon, sekä siihen, onko kahdella Suomen teillä käytettävällä suolalla – kalsiumkloridilla ja natriumkloridilla – eroa keskenään juuri jarrujen toiminnan kannalta. Lisäksi työssä arvioitiin suolojen korroosio-ominaisuuksia sekä yleisesti käsiteltiin liukkaudentorjuntaa ja siihen liittyviä näkökohtia. Toimeksiantajana työssä oli Tiehallinto ja työn ohjaajana toimi diplomi-insinööri Anne Leppänen.

Työn toteutus tapahtui korroosio-ongelman osalta pohjautuen aikaisempaan tutkimus tietoon sekä silmämääräisiin arviointeihin. Vaikutuksia jarrujen tehoon arvioitaessa lähtökohdaksi otettiin kahden automerkin – VW:n ja Saabin – kokemukset ja tiedot asiasta, ja nämä tiedot toimivat pohjatietona varsinaisissa laboratoriomittauksissa, jotka suoritettiin Helsingin ammattikorkeakoulun jarru-simulaattorilla. Laboratoriomittauksissa suoritettiin jarrutuksia useissa eri tilanteissa, joita olivat kuiva levy, märkä levy, märkä suolaliuos (molemmat suolat) sekä kuivunut suola (niinikään molemmat suolat). Näiden mittausten tarkoituksena oli löytää mahdolliset erot eri tilanteiden välillä ja verrata niitä aikaisempaan tietoon.

Korroosio-ongelmaan siis paneuduttiin varsin yleisellä tasolla käyttäen hyväksi aikaisempaa tietoa ja silmämääräistä arviointia. Suolojen eroista korroosion kohdalla on olemassa varsin ristiriitaista tietoa. Yleisesti natriumkloridia on pidetty vähemmän korrodoivana. Tässäkin työssä tehtyjen havaintojen perusteella voidaan olettaa asian olevan juuri näin. Kun jarrulevyjä kasteltiin suolaliuksilla molemmat levyt saivat pintaansa ruostetta. Kalsiumkloridin tapauksessa levyyn muodostunut ruostekerros oli paksumpi ja muutenkin ruosteen muodostus vaikutti nopeammalta. Mutta kuten todettua, asiaa tyydyttiin arvioimaan ainoastaan silmämääräisesti, joten tarkkaa tutkimusdataa asiasta ei ole.

Selvitettäessä suolojen vaikutuksia jarrujen tehoon, otettiin lähtökohdaksi VW:n ja Saabin kokemukset. Molemmilla merkeillä oli raportoitu jarrujen häipymisilmiöstä ajettaessa suolatuilla teillä. Molemmilla merkeillä asiaan reagoitiin vaihtamalla mm. jarrupalat paremmin Pohjoismaisiin olosuhteisiin sopiviksi. Lisäksi VW-konsernissa asiaa tutkittiin jonkin verran ja näiden tutkimusten pohjalta todettiin, että suola todellakin heikensi jarrujen tehoa. Lisäksi havaittiin, että kalsiumkloridi heikensi jarrujen tehoa jonkin verran natriumkloridia enemmän.

Edellä mainittujen tietojen ja kokemusten pohjalta lähdettiin suorittamaan laboratoriomittauksia jarrusimulaattorilla. Kyseisissä mittauksissa oli tarkoitus mitata jarrutusmomentti paineen funktiona, jolloin pystyttiin arvioimaan eroja eri tilanteiden välillä. Mittausten aikana ilmeni kuitenkin erinäisiä ongelmia ja on syytä olettaa, että niillä oli myös jonkin verran vaikutusta mittausten vertailukelpoisuuteen. Useita jarrutuksia eri tilanteissa toistamalla saatiin kuitenkin tarvittava määrä tuloksia, joiden perusteella eri tilanteiden välinen vertailu oli riittävällä tarkkuudella mahdollista. Tulosten arvioinnissa keskityttiin nimenomaan jarrutuksen alkuvaiheeseen, koska vakio paine tilanteen tulokset olivat epätarkkoja ja tällöin olisi myös tarvittu enemmän mittausfunktioita, kuten aika ja lämpötila.

Mittausten perusteella voitiin todeta, että luonnollisesti kuivalla levyllä jarrujen teho oli parhaimmillaan. Kahden levyn tulokset poikkesivat toisistaan, mutta kuitenkin kummassakin juuri kuivalla levyllä saavutettiin paras tulos. Kun suolaliuosten annettiin kuivua levyjen pintaan, hieman ongelmalliseksi muodostui jo aiemmin mainittu korroosio. Siitä huolimatta kyseissä tilanteissa saatiin suoritettua tarvittava määrä mittauksia ja niiden perusteella havaittiin, että verrattuna kuivaan levyyn jarrujen momentin kasvunopeus oli noin 30 prosenttia heikompi. Kuivuneen suolan tapauksia keskenään verrattaessa oli huomattavissa pieni ero kalsiumkloridin hyväksi.

Märän levyn tapausta analysoitaessa kahdella eri levyllä mittaustulokset olivat kuivan levyn tapaan varsin poikkeavia toisistaan. Näin ollen sen vertaaminen kuivuneen suolan tapaukseen on hieman ongelmallista, mutta joka tapauksessa pelkkä vesikin heikensi tehoa kuivaan verrattuna. Eroa kuivaan levyyn tuli toisella levyllä 25 % ja toisella 42 %. Joka tapauksessa märän levyn jarrutusteho lienee hieman kuivuneiden suolojen tilanteita heikompi. Kun levyn kittapinta altistui kalsiumkloridiliuokselle, tapahtui jarrutustehossa dramaattinen pudotus. Momentin nousu oli todella hidasta ja verrattuna kuivaan levyyn momentin nousunopeus oli peräti 90 % pienempi. Vastaavalla tavalla toinen levy kasteltiin natriumkloridiliuoksella, ja samoin tässä mittauksessa oli havaittavissa selkeä heikennys jarrujen tehossa, ei kuitenkaan aivan yhtä raju kuin kalsiumkloridilla. Momentin nousunopeuden ero kuivaan levyyn oli noin 68 %.

Kuten huomataan tulokset ovat samansuuntaisia kuin VW:n suorittamissa tutkimuksissa, eli suola todellakin heikentää jarrujen tehoa. Karkeasti eri tilanteet voidaan parhaan jarrutustehon mukaan jakaa seuraavasti:

1. kuiva levy
2. kuiva kalsiumkloridi
3. kuiva natriumkloridi
4. märkä levy (vesi)
5. natriumkloridiliuos
6. kalsiumkloridiliuos.

Koska suolan aiheuttama ongelma juuri jarrujen osalta on ilmeinen, miten sitä vastaan sitten voidaan taistella. Ensinnäkin ongelma muodostuu ajettaessa suolatuilla ja kosteilla teillä. Tällöin ensisijaisena keinona on se, että kuljettaja tiedostaa asian ja huomioi mahdollisen heikomman tehon autonsa jarruissa. Ajonopeus ja jonossa ajettaessa turvaväli edellä ajavaan ovat siis ensiarvoisen tärkeitä tekijöitä ongelman synnyssä. Autokouluissa suolan vaikutuksia jarruille olisikin syytä käsitellä yhtenä liukkaan ajokelin ongelmana.

Toisekseen mitä helpommin vesi, sohjo ja suola pääsevät jarrupinnoille, sitä pahempi ongelma on. Mahdollisimman hyvin suojatut jarrut pienentävät ongelman vakavuutta huomattavasti. Ei siis kannata varustaa autoa talvikäyttöön avonaisilla kevytmetallivanteilla, vaan kannattaa luottaa perinteisiin peltivanteisiin ja umpinaiisiin pölykapseleihin. Vaikka kuivunut suola tuntui jäävän levyn pinnalle varsin hyvin, niin siitä huolimatta pelkällä vedelläkin suoritettu levyjen huuhtelu silloin tällöin kannattaa, erityisesti jos on ajettu suolatulla tiellä. Vedellä huuhtelu ei ehkä poista kaikkea suolaa, mutta se estää suolan liiallisen kertymisen jarruosiin. Lisäksi autoilijan kannattaa huolehtia siitä, että huolloissa kiinnitetään huomiota jarrujen kuntoon ja tehoon, erityisesti ajankohtina jolloin teitä suolataan.

7 VIITTEET

- /1/ Teiden talvihoito: Laatuvaatimukset 2001. Tiehallinto: Helsinki. 2001. 23 s.
- /2/ Mikko Malmivuo, Kitkanmittauslaitteiden vertailututkimus 2000. Tiehallinnon selvityksiä 6/2001. Tiehallinto: Helsinki. 2001. 56 s.
- /3/ Teiden talvihoito, Menetelmätieto: Luku 1. Liukkaudentorjunta. TIEH 2230006-01. Tiehallinto: Helsinki. 2001. 13 s.
- /4/ Palvelutaso ja toimenpiteet talvihoitoluokissa. WWW-dokumentti. Tiehallinto. <<http://www.tiehallinto.fi/talviliikenne/talvih/luokat.htm>>. Luettu 16.10.2001
- /5/ Kalsiumkloridi yleisesti. WWW-dokumentti. Kemira. <http://www.kemira.com/kalsiumkloridi/kalsiumkloridi_yleisesti.htm>. Luettu 16.10.2001.
- /6/ Liukkaudentorjunta. WWW-dokumentti. Kemira. <<http://www.kemira.com/kalsiumkloridi/liukkaudentorjunta.htm>>. Luettu 16.10.2001.
- /7/ Ympäristö ja korroosio. WWW-dokumentti. Kemira. <<http://www.kemira.com/kalsiumkloridi/ymparist.htm>>. Luettu 2.4.2001.
- /8/ Tutkimus väitetyistä ongelmista autojen ABS-jarruissa. WWW-dokumentti. Onnettomuustutkintakeskus. <<http://www.onnettomuustutkinta.fi/4733.htm>>. Luettu 22.8.2001.
- /9/ Jarruttaminen talvella suolatuilla teillä. Volkswagen AG, Wolfsburg 001.5181.50.71 Tekniikka 11/99. VV-auto: Hyvinkää. 2000. 11 s.
- /10/ Jukka Harju, Saabin 9-3-mallin jarrut voivat hetkeksi pettää suolatulla tiellä. Helsingin Sanomat, 27.11.1999. WWW-dokumentti. <<http://www.helsinginsanomat.fi/uutisarkisto/19991127/koti/991127ko01.html>>. Luettu 2.4.2001.
- /11/ Kalsiumklorid i intervägghållningen. VTI meddelande 829. VTI. 1998.

全頁地圖上附一覽

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-828-9
TIEH 3200718